

Aus der Klinik für Kieferorthopädie,
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg / Saar
Direktor: Univ. - Prof. Dr. Jörg A. Lisson

Zur Möglichkeit der Standardisierung von Bogen für die Lingualtechnik

***Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der
Zahnheilkunde der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES
2013***

vorgelegt von: Cynthia Stephanie Six
geb. am: 06.11.1986 in Siegen

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
1.1	Summary	6
2	Einleitung	7
2.1	Kieferorthopädische Behandlung mit festsitzenden Apparaturen – Schwerpunkt Lingualtechnik	9
2.2	Individualisierung lingualer Apparaturen.....	11
2.3	Standardisierte Bogenformen.....	12
2.4	Zielsetzung.....	14
3	Material und Methode	15
3.1	Patienten.....	15
3.2	Behandlungstechnik.....	15
3.3	Modellauswertung	18
3.3.1	Streckenmessungen im Zahnbogen	20
3.3.1.1	Messpunkte	20
3.3.1.2	Methodische Messungen der Zahnbogenlänge	20
3.3.1.3	Methodische Messungen der Zahnbogenbreite	22
3.4	Bogenform	23
3.5	Standardabweichung	35
3.6	Winkel.....	38
3.7	Statistische Auswertung.....	39
3.8	Fehleranalyse	39
4	Ergebnisse	40
4.1	Patienten.....	40
4.1.1	Alter	40
4.1.2	Behandlungsdauer	41
4.2	Modellauswertung	42
4.2.1	Streckenmessungen	43
4.2.1.1	Methodische Messungen der Zahnbogenlänge	43
4.2.1.2	Methodische Messungen der Zahnbogenbreite	47
4.3	Bogenform	50
4.4	Standardabweichung	56
4.5	Winkel.....	57

4.6	Fehleranalyse	58
5	Diskussion.....	59
5.1	Patienten.....	59
5.2	Behandlungstechnik.....	60
5.3	Modellauswertung	61
5.3.1	Streckenmessungen	61
5.3.1.1	Methodische Messungen der Zahnbogenlänge	62
5.3.1.2	Methodische Messungen der Zahnbogenbreite	64
5.4	Bogenform	66
5.5	Winkel	69
5.6	Fehleranalyse	70
5.7	Schlussfolgerung.....	70
6	Literaturverzeichnis	71
7	Abbildungsverzeichnis.....	76
8	Tabellenverzeichnis.....	79
9	Anhang.....	80
9.1	Messstrecken	80
9.2	Winkel	88
10	Dank.....	89
11	Lebenslauf.....	90

Vorwort

Zur besseren Lesbarkeit werden TM, ©, und ® ausgelassen, woraus jedoch nicht geschlossen werden kann, dass die Produkte und Bezeichnungen nicht geschützt sind.

1 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie gliedert sich in zwei Teile. Der erste Teil wird sich mit der Vermessung von Gipsmodellen beschäftigen. Diese wurden von Patienten vor und nach der Behandlung mit der Lingualtechnik erstellt. Im zweiten Teil wird es um die Konstruktion von Bogenformen gehen, die die zuvor gemessenen Werte zur Grundlage haben.

Ziel der Studie ist der Vergleich der Veränderungen von gescannten Gipsmodellen von untherapierten und therapierten Patienten durch dreidimensionales Vermessen, um zu ermitteln, ob eine oder mehrere standardisierte Bogenformen zu konstruieren sind.

Zu diesem Zweck wurden Gipsmodelle von [n=39] Patienten vor und nach der Behandlung vermessen. Dies erfolgte mit dem Activity Scanner 102 und dem 3D-Viewer von 3D-Shape. Für die Ausmessung der Modelle wurden Messpunkte entsprechend der Lingualtechnik ausgewählt. Es wurden methodische Messungen der Zahnbogenlänge und Zahnbogenbreite durchgeführt.

Die ermittelten Werte waren die Grundlage für die millimetergenaue Bogenkonstruktion mit dem Programm QCad 1.5.1. Unter Beachtung des Mittelwertes, Maximums und Minimums ergaben sich 14 Bogenkonstruktionen. Die Standardabweichung fand ebenfalls Berücksichtigung.

In einzelnen Fällen kam es nach der Behandlung zu signifikanten Veränderungen einiger Messstrecken. Der Inter canine-Abstand, als wichtiger Parameter für stabile Langzeitergebnisse, änderte sich nicht signifikant.

Die innerhalb der Studie vorliegenden Ergebnisse zeigen auf, dass ein stabiles Behandlungsergebnis nur durch die Individualisierung der Bogen erreicht werden kann.

1.1 Summary

The present study is divided in two parts. The first part will deal with the measurement of plaster models. These were created by patients before and after treatment with lingual orthodontics. The second part will deal with the construction of arch forms that have the previously measured values as a basis.

The aim of the study is to compare the changes of scanned plaster models of untreated and treated patients by three-dimensional measurements to determine whether one or more arch forms are standardized to construct.

For this purpose, plaster models [$n = 39$] were measured before and after treatment. This was done with the Activity Scanner 102 and the 3D-Viewer from 3D-Shape. For the measurement of the models measuring points were selected according to the lingual orthodontics. Methodical measurements of dental arch width and length were performed.

The values obtained were the basis for the millimetre accurate arch structure with the QCad 1.5.1 program. Taking into account the mean, maximum and minimum, there were 14 arch wires constructed. The standard deviation was also a consideration.

In some cases there were significant changes of some test sections after the treatment. The intercanine distance as an important parameter for stable long-term results did not change significantly.

The results within the study indicate that a stable outcome can only be achieved through the individualization of the arch wires.

2 Einleitung

Die Lingualtechnik ist eine noch relativ junge Behandlungsmethode der Kieferorthopädie. Sie ist vor allem bei den Patienten beliebt, da die verwendete Behandlungsapparatur nicht bzw. kaum sichtbar ist. Besonders Erwachsene nutzen diesen Vorteil bei der Behandlung im Vergleich zur Therapie mit bukkal angebrachter Multibracketapparatur.

Seit 1976 stellt die Lingualtechnik eine Alternative zur labialen Bracketadhäsivtechnik dar. FUJITA (1979; 1982) und KELLY (1982), sowie PAIGE (1982) und YEN (1986) entwickelten eigenständig Lingualbrackets und trieben die Lingualtechnik weiter voran. Fujita und Kelly entwickelten eine Edgewise-Technik, Paige und Yen eine Begg-Technik. Einen guten Überblick über die Anfänge der Lingualtechnik bietet die Serie „Lingual Orthodontics: A Status report“.

Die ersten Patienten wurden von Dr. Craven KURZ Mitte der 1970er Jahre in Kalifornien behandelt. Dabei fanden bukkale Brackets, die auf die Lingualseite geklebt wurden, Verwendung. KURZ konnte damit recht gute Ergebnisse erzielen (Alexander et al., 1982; Ling, 2005). Ormco entwickelte mit KURZ das erste linguale Bracket. 1978 formierte sich an der University of California eine Gruppe von sieben Kieferorthopäden um Dr. Craven KURZ, die so genannte Lingual Task Force. Zur selben Zeit fanden die Entwicklungen von FUJITA, KELLY, PAIGE und YEN statt. Nach ersten klinischen Erfahrungen konnten die hohen Erwartungen jedoch nicht erfüllt werden und viele Kieferorthopäden wendeten wieder die labiale Technik an. Es ergaben sich Probleme aufgrund der schwierigeren Bracket- und Bogenapplikation, der unterschiedlichen Morphologie der Lingualflächen und des geringeren Interbracketabstandes (Diedrich, 1984).

1999 stellten HONG und SOHN ihre Weiterentwicklung des Fujita Brackets vor.

2001 publizierten TAKEMOTO und SCUZZO ein Straight-wire-Lingualsystem.

2002 stellten MACHI et al. das 2D Lingualbracket von Philippe vor, das in Zusammenarbeit mit Forestadent entwickelt wurde. Es gibt vier verschiedene Brackettypen, die direkt im Patientenmund geklebt werden. CACCIAFESTA bestätigte die gute

Handhabung in einem Interview (Ludwig et al., 2012a; Ludwig et al., 2012b).

2005 kam es zur Einführung des Incognito Systems (Mujagic et al., 2005). Eine Lingualtechnik die individuell für jeden Patienten gefertigt wurde. Die Apparaturen entstehen zuerst im Rechner. Mit Hilfe höchst präziser Biegeroboter werden die Bogen computergesteuert geformt. Durch die Individualisierung der Bracketherstellung kam es zu einer Verbesserung des Tragekomforts. Die Patienten klagten weniger über Einengung des Zungenraums, Sprachverschlechterungen und Beeinträchtigungen beim Kauen (Stamm et al., 2005).

Die Behandlungsmethode findet in Europa und Japan aufgrund der offensichtlichen ästhetischen Vorzüge eine immer größere Verbreitung (Alexander et al., 1983; Creekmore, 1989; Fritz et al., 2002; Fujita, 1979; Fujita, 1982; Gorman, 1988).

2.1 Kieferorthopädische Behandlung mit festsitzenden Apparaturen – Schwerpunkt Lingualtechnik

Festsitzende kieferorthopädische Apparaturen können vestibulär oder lingual angebracht werden. Die Verlagerung der Brackets und der Bogen stellt andere Anforderungen an den Behandler. Eine direkte Aufsicht, wie bei der Behandlung von bukkal ist nicht gegeben. Der Bogen ist kleiner, was mit einer geringeren Interbracketdistanz und damit einer veränderten Krafteinwirkung einhergeht (Geron et al., 2004; Jost-Brinkmann et al., 1993). Das Kleben der Brackets auf der Lingualfläche wird erschwert durch eine Reihe von Faktoren; von nennenswerter Bedeutung ist die unterschiedliche Morphologie der Lingualfläche (Smith et al., 1986). Daher wurden im Laufe der Zeit eine Vielzahl an Labortechniken zum Platzieren der Brackets entwickelt (Mujagic et al., 2005; Wiechmann, 1999a; Wiechmann, 1999b; Wiechmann, 2000).

Die Mehrheit der kieferorthopädischen Korrekturen wird aufgrund ihrer breiten therapeutischen Einsetzbarkeit mit festsitzenden Multiband- oder Multibracketapparaturen durchgeführt. Sie bestehen unabhängig von dem verwendeten System aus Brackets, Bändern, Bogen und Hilfsmitteln. Mit den festsitzenden Apparaturen sind theoretisch alle orthodontischen Bewegungen möglich. Sie werden vornehmlich zu körperlichen Zahnbewegungen unter Einhaltung der Achsenrichtung, Rotationen, sowie Ex- und Intrusionen eingesetzt. Sie eignen sich auch für Torquebehandlungen. Die Zahnkrone selbst bleibt in ihrer Ausgangsposition stehen, nur die Wurzel wird gekippt. Im Gegensatz zu herausnehmbaren Apparaturen sind die Zahnbewegungen exakter und kontrollierbarer. Wegen der höheren Kräfte kann es bei festsitzenden Apparaturen zu Wurzelresorptionen, Gingivaschäden und Vitalitätsverlusten kommen (Schopf, 2008).

Die Behandlung gliedert sich in fünf Phasen,

- die Nivellierungs-,
- Führungs-,
- Kontraktions-,
- Justierungs- und
- Retentionsphase.

Einleitung

Die Zahnbewegungen erfolgen über Knochenabbau in der Druckzone und -anbau in der Zugzone. Es kommt zur Differenzierung von Osteoklasten, welche den Knochen in der Druckzone abbauen. Die Osteoblasten differenzieren sich in der Zugzone, die für den Knochenaufbau verantwortlich ist (Göz, 2000).

In Abhängigkeit von der Therapiephase sind die Bogen aktive Bestandteile der fest-sitzenden Apparaturen. Zu Bewegungen kommt es, indem sie Kräfte und Drehmomente auf die Zähne übertragen. Die gebräuchlichen Drahtmaterialien sind:

- nichtrostender Stahl
- Beta-Titan-Legierungen
- Nickel-Titan-Legierungen
- Kobalt-Nickel-Chrom-Legierungen

Die Bogen unterscheiden sich auch hinsichtlich ihrer Form (Rund- oder Vierkantdraht) und Stärke. Zu Beginn der Behandlung werden dünnere, elastischere Drähte eingesetzt, während gegen Ende dickere, starrere Drähte zur Anwendung kommen (Schopf, 2008). Die in der Bukkaltechnik verwendeten Bogen sind für diese Studie nicht relevant.

Die typische Pilzform der Lingualtechnik (Abb. 1) gibt es seit 1982. Die „mushroom arch-wire form“ mit der Off-Set-Biegung distal der Eckzähne wird benötigt, um dem Platzbedarf der Prämolaren gerecht zu werden. Im Idealbogen muss auch für die Molaren eine Off-Set-Biegung vorgenommen werden (Gerkhardt, 2000).



Abbildung 1 Lingualbogen, Forestadent

Die lingualen Bogen entstanden, indem die fazial-linguale Zahndimension und die Bracketbasisdimension von einem bukkalen Bogen subtrahiert wurden (Alexander et al., 1982).

Die durch den Bogen applizierte Kraft wird über das Bracket auf den Zahn übertragen. Lingualbrackets können 2D oder 3D Informationen enthalten. 3D Brackets enthalten in den Slot einprogrammierte Informationen:

- 1. Ordnung (In-/Outset)
- 2. Ordnung (Angulationen)
- 3. Ordnung (Torque)

2D Brackets bedeutet in diesem Sinne das Zahnbewegungen 3. Ordnung nicht möglich sind. Die Slots sind nicht rektangulär und es kommen lediglich Runddrähte zum Einsatz (Ludwig und Glasl, 2009).

2.2 Individualisierung lingualer Apparaturen

Vestibulär befestigte Apparaturen sind technisch einfacher zu handhaben, da die Vestibularflächen weniger variabel sind als die Lingualflächen. Aufgrund dieser unterschiedlichen Morphologie der Lingualflächen der Zähne wird oftmals ein indirektes Verfahren zur Bracketpositionierung angewendet. Darüber hinaus sind Biegungen erster, zweiter und dritter Ordnung nötig. In der Straight-wire-Bukkaltechnik sind diese Informationen in der Bracketbasis verschlüsselt. In der Lingualtechnik werden diese Informationen durch eine Kompositbasis gestaltet oder durch Edgewise-Biegungen. Für beide Fälle ist ein Laborprozess erforderlich, in dessen Ablauf ein Set-up-Modell (idealer Zahnbogen) erstellt wird (Abb. 2-6), welches das Behandlungsziel und die Bracketposition definiert (Wiechmann, 1999a; Wiechmann, 1999b; Wiechmann, 2000). Aufgrund der unterschiedlichen Morphologie der lingualen Zahnflächen werden für jede Fläche individuell die Brackets auf das Set-up-Modell geklebt. Auch die Herstellung individualisierter Bogen ist notwendig. Dafür werden spezielle Biegeroboter benötigt. Die unterschiedlichen Ausführungen für die Individualisierung der Brackets und Bogen sind technisch aufwändig. Die eigentliche Bogenherstellung geschieht heutzutage mit Hilfe der CAD/CAM Technologien und compu-

Einleitung

tergesteuerten Biegerobotern. Diese können die unterschiedlichsten Drahtmaterialien biegen, zum Beispiel Stahl, NiTi oder TMA. Aufgrund der CAD/CAM Technologien kam es zu einer scheinbaren Vereinfachung bei der lingualen Behandlung.



Abbildung 2 Set-up-Modell



Abbildung 3 Set-up-Modell



Abbildung 4 Set-up-Modell



Abbildung 5 Set-up-Modell



Abbildung 6 Set-up-Modell

2.3 Standardisierte Bogenformen

Eine Alternative zu den indirekten Verfahren, bietet das bei dieser Untersuchung verwendete 2D Lingual System von Forestadent (Ludwig und Glasl, 2009). Es wird kein Set-up-Modell benötigt, sondern Standardbogen verwendet und die Brackets können direkt im Mund adhäsiv befestigt werden. MACCHI et al. (2002), CACCIA-FESTA und SFONDRINI (2006) und LUDWIG et al. (2010) beschreiben Behandlungen mit den selbstligierenden Brackets und standardisierten Bogen.

Wobei die Zahnbogenform und -weite entscheidende Faktoren für den Erfolg und die Stabilität der kieferorthopädischen Behandlung sind (de la Cruz et al., 2005; Felton et al., 1987; Little, 1990). In zahlreichen Studien wurden die Veränderungen der ursprünglichen Form des Zahnbogens durch kieferorthopädische Behandlungen (BeGole et al., 1998; Franchi et al., 2006; Hofmann and Zachrisson, 2010; Ludwig et al., 2012b; Ward et al., 2006) und im natürlichen Verlauf des Lebens untersucht

(Bishara et al., 1997; Proffit, 1978; Weinstein et al., 1963). LOMBARDO et al. stellten bei ihrer Untersuchung der lingualen Bogenform keinen Unterschied zwischen Männern und Frauen fest. Bedeutung hat auch die Inter canine-Distanz (Carter und McNamara, 1998). Expansionen im Unterkiefer und vor allem im Bereich der Eckzähne verbleiben nicht stabil (Hofmann und Zachrisson, 2010; Little et al., 1988, Little et al., 1990). FELTON et al. (1987) zeigten, dass es bei bis zu 70% der untersuchten Patienten zu Veränderungen nach der Behandlung kam. Bei 50% der Patienten entsprachen die konfektionierten Bogen den Zahnbogenformen; bei den anderen 50% bestand eine Variationsbreite der Zahnbogen. Behandlungsalternativen bei Engständen sind eine Gaumennahterweiterung (Lagravere et al., 2005a; Lagravere et al., 2005b), die Extraktion von Prämolaren (Janson et al., 2006) und das Strippen von Zähnen (Grippaudo et al., 2010).

BECHTOLD und GÖZ (2010) untersuchten in einer Studie bei 99 kieferorthopädisch behandelten Patienten den Einfluss standardisierter Bogen auf die transversale Dimension bei der Korrektur frontaler Engstände. Die größte Zahnbogenerweiterung war im Ober- und Unterkiefer im Bereich der 1. Prämolaren. Es bestand keine signifikante Veränderung an der Unterkiefer-Eckzahnspitze.

BRAUN et al. (1999) kamen in ihrer Studie zu dem Schluss, dass die untersuchten Nickel-Titan-Bogen überprüft und den Zahnbogenformen neu angepasst werden müssten. Die Nickel-Titan-Bogen waren breiter als der Zahnbogen. Durch Verwendung der zu breiten Bogen wurden die natürlichen Zahnbogen unbeabsichtigt expandiert. Setzte der Behandler Stahlbogen ein, um die Zahnbogenform individuell zu korrigieren, bestand die Gefahr der Gewebeschädigung durch „round tripping“.

DE LA CRUZ et al. (1995) fanden zehn Jahre nach einer kieferorthopädischen Behandlung heraus, dass der Zahnbogen nach der Retention die Tendenz hat, in seine ursprüngliche Form zurückzukehren und dass die prätherapeutische Bogenform der beste Leitfaden für ein stabiles Behandlungsergebnis ist.

Es ist ein Trend zur immer größeren technisch aufwändigen Individualisierung in der Lingualtechnik deutlich erkennbar. CAD/CAM Technologien gehören zum Alltag der Kieferorthopädie. Nicht alles, was technisch machbar ist, muss aber auch umgesetzt werden. Wichtig ist vielmehr eine Behandlung unter Berücksichtigung des Erhalts der ursprünglichen Zahnbogenform. Es muss also der Frage nachgegangen werden, ob zur Vereinfachung der Therapie anstelle von aufwändigen Laborverfahren die Verwendung standardisierter Bogenformen möglich ist.

2.4 Zielsetzung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, durch dreidimensionales Vermessen eingescannter Gipsmodelle die linguale Bogenform von untherapierten und therapierten Patienten miteinander zu vergleichen. Weiterhin soll eine Aussage über Veränderungen der Zahnbogenform durch kieferorthopädische Behandlung getroffen werden. Darüber hinaus soll analysiert werden, ob eine oder mehrere standardisierte Bogenformen ermittelt werden können.

3 Material und Methode

3.1 Patienten

Es wurden dreidimensional getrimmte Modellpaare [n=39, m=14, w=25] von Patienten mit kieferorthopädischem Behandlungsbedarf vor Behandlungsbeginn (T1) und nach Behandlungsende (T2) untersucht.

Kriterien für die Auswahl der Patienten waren:

- vollständige Behandlungsunterlagen: Modellpaare zum Zeitpunkt T1 und T2
- durchgebrochene 2. Dentition zu T2
- keine vorherige kieferorthopädische Behandlung
- erfolgreicher Behandlungsabschluss aus kieferorthopädischer Sicht
- Behandlung ausschließlich mit lingual befestigten festsitzenden Apparaturen

3.2 Behandlungstechnik

Die Patienten, von denen die hier untersuchten Modellpaare gewonnen wurden, wurden mit den 2D Lingual-Brackets, BioLingual Bogen und Stahlbogen behandelt. Die Brackets sind selbstligierend mit einer Dicke von 1,3mm und einem vertikalen Slot zur Bogeneingliederung und -ausgliederung (Abb. 7). Ein Bracketdesign ist für alle Zahngruppen ausreichend, da Derotationen und Angulationen mit diesen Brackets zu behandeln sind. Torquebehandlungen sind mit 2D Lingual Brackets in erster Linie nicht möglich (kein rektangulärer Slot, sh. S. 11, Kapitel 2.1).



Abbildung 7 2D Lingualbracket, Forestadent

Die Brackets werden direkt im Patientenmund unter Berücksichtigung folgender Abstände zur Inzisalkante geklebt:

Abstand in mm	Zahn	1	2	3	4	5	6	7
	OK	5	5	5	4	4	3	2
	UK	4	4	4	3	3	2	2

Tabelle 1 Bracketabstand zur Inzisalkante bzw. zur Höckerspitze

Abbildung 8 zeigt den Unterkiefer vor der adhäsiven Befestigung der Multibracketapparatur.



Abbildung 8 Unterkiefer vor adhäsiver Befestigung

Abbildung 9 zeigt den Unterkiefer mit adhäsiv befestigter lingualer Multibracketapparatur und einligiertem Nickel-Titan-Bogen.



Abbildung 9 Unterkiefer nach adhäsiver Befestigung

Es kamen spezielle, für die Lingualbehandlung entwickelte Bogen zur Anwendung (Abb. 10). Die Formen sind in den Maßen 0,010“ (0,25mm), 0,012“ (0,30mm), 0,014“ (0,35mm) und 0,016“ (0,40mm) gebräuchlich. Mit Hilfe einer Schablone erfolgte die Auswahl des passenden Bogens im Patientenmund oder an einem Modell. Sie sind aus Nickel-Titan, einer wärmeaktiven Legierung mit Formgedächtnis gefertigt. Zum Abschluss der Behandlung wurden Stahlbogen eingesetzt. Diese wurden von dem Behandler an einem Modell mit den benötigten In-Set-Biegungen versehen (individualisiert).



Abbildung 10 Lingualbogen, Forestadent

Die Herstellung eines Ziel-Set-up-Modells ist keine Voraussetzung mehr. Die Bogen sind konfektioniert mittelwertig hergestellt. Folgende Bogensequenz kam zu Anwendung: 0,012 SE (Nickel-Titan), 0,014 SE (Nickel-Titan), 0,016 SE (Nickel-Titan) und 0,016 SS (Stahl). Nach Erreichen des Behandlungsziels erfolgte das Debonding.

3.3 Modellauswertung

Die 1. Abformung fand zum Zeitpunkt T1 statt, die 2. zum Zeitpunkt T2.

Die dreidimensionale Erfassung der Modelle erfolgte mit dem 3D Dentalscanner Activity 102 von smart optics (Abb. 11). Dafür wurde das zu scannende Modell zuerst auf dem Modellhalter befestigt (Abb. 12) und es folgte ein Prescan. Dieser erfasste zunächst nur die Geometrie. Nach Abschluss des Prescans wurde ein Bild des Modells angezeigt, an dem die Scandefinition stattfand. Festgelegt wurde, welche Zähne eingescannt werden sollten und ob es sich um Ober- oder Unterkiefer handelte. Daraufhin startete der Scanvorgang. Das 3D-Modell wurde im STL-Format gespeichert und konnte mit den üblichen CAD/CAM Programmen verwendet werden. STL (**S**urface **T**esselation **L**anguage) beschreibt die Oberfläche durch Dreiecke und ist eine Schnittstelle vieler CAD-Systeme.



Abbildung 11 Activity Scanner 102




Abbildung 12 Activity Scanner 102

Zur Vermessung der eingescannten Modelle wurde der 3D-Viewer 1.54 von 3D-Shape mit einem Personal Computer mit dem Betriebssystem Microsoft Windows 7 verwendet. Das Programm diente dazu die Unter- und Oberkiefergipsmodelle dreidimensional zu visualisieren sowie zur Bearbeitung der errechneten Daten.

Es wurde nicht nach einem bereits bestehenden Analyseverfahren vorgegangen.

Material und Methode

Die eingescannten Modelle wurden in den 3D-Viewer importiert, durch anwenden der Funktion *3D Datei(en) laden* (Abb. 13 )

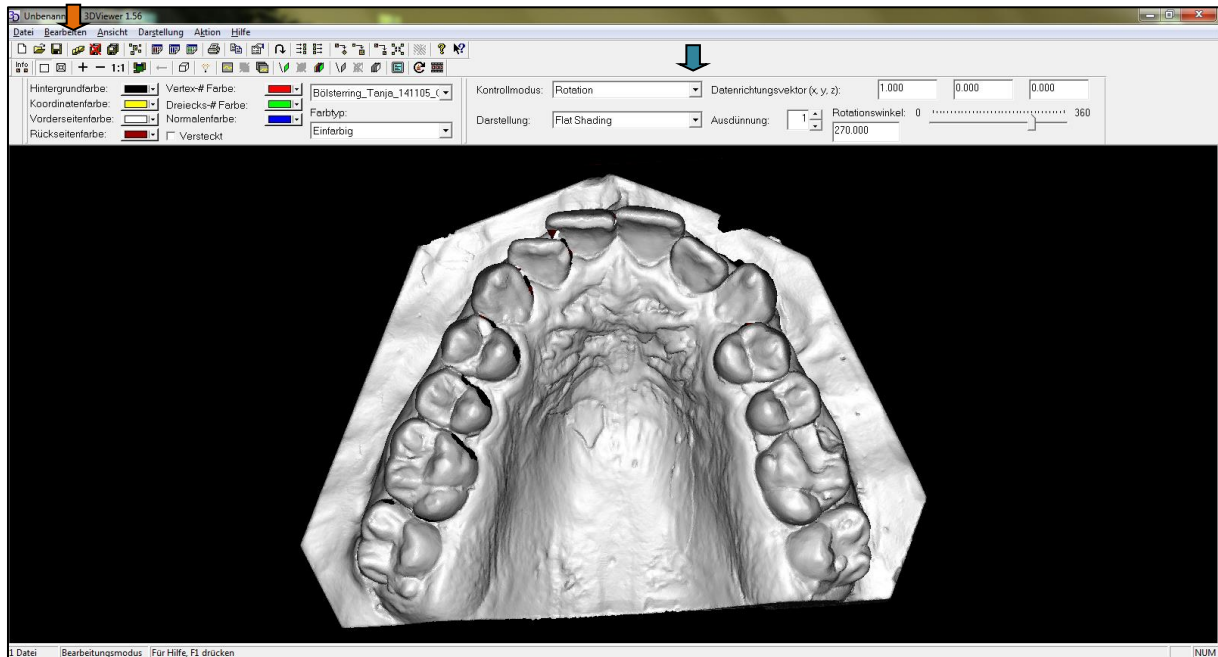



Abbildung 13 Importieren der Modelle in den 3D-Viewer

Im Kontrollmodus musste nun von *Rotation* auf *Vertex Information* (Abb. 13 ) gewechselt werden. Es mussten Messpunkte gewählt werden, die sich auf allen Modellen wiederfinden ließen. Um interindividuelle Fehler auszuschließen, wurden die Messungen von nur einer Person durchgeführt.

Von der Vertex Information konnte wieder in den Rotationsmodus gewechselt werden, um eine bessere Übersicht bei der Auswahl der Messpunkte erhalten zu können.

Unter Vertex wird in 3D-Computergrafiken ein Eckpunkt verstanden, der weitere Informationen enthalten kann, wie eine zusätzliche Positionsangabe. In diesem Fall wird sich zu Nutze gemacht, dass die Abstände zwischen den einzelnen Vertexpunkten angegeben wurden. Da es möglich war drei Punkte über die Vertex Information zu markieren, konnte das ganze Modell gleichzeitig in der Zahnbogenlänge sowie der Zahnbogenbreite vermessen werden.

3.3.1 Streckenmessungen im Zahnbogen

3.3.1.1 Messpunkte

Um Streckenmessungen vornehmen zu können, mussten Messpunkte festgelegt werden, die möglichst eindeutig und gut reproduzierbar waren.

Folgende Messpunkte wurden verwendet:

- **Schneidezähne im Ober- und Unterkiefer**

Mittelpunkt der Schneidekante

- **Eckzähnen im Ober- und Unterkiefer**

Eckzahnspitze

- **Prämolaren im Oberkiefer**

palatinale Höckerspitze

- **Prämolaren im Unterkiefer**

1. Prämolaren mesio-linguale Höckerspitze
2. Prämolaren linguale Höckerspitze

- **Molaren im Oberkiefer**

mesio-palatinale Höckerspitze

- **Molaren im Unterkiefer**

mesio-linguale Höckerspitze

3.3.1.2 Methodische Messungen der Zahnbogenlänge

Durch Verbinden der Messpunkte ergaben sich die folgenden, reproduzierbaren Strecken (Abb. 14, 15). Die Werte wurden in Millimeter (mm) registriert.

- **Zahn 11-12, Zahn 12-13, Zahn 13-14, Zahn 14-15, Zahn 15-16, Zahn 16-17, Zahn 21-22, Zahn 22-23, Zahn 23-24, Zahn 24-25, Zahn 25-26, Zahn 26-27**

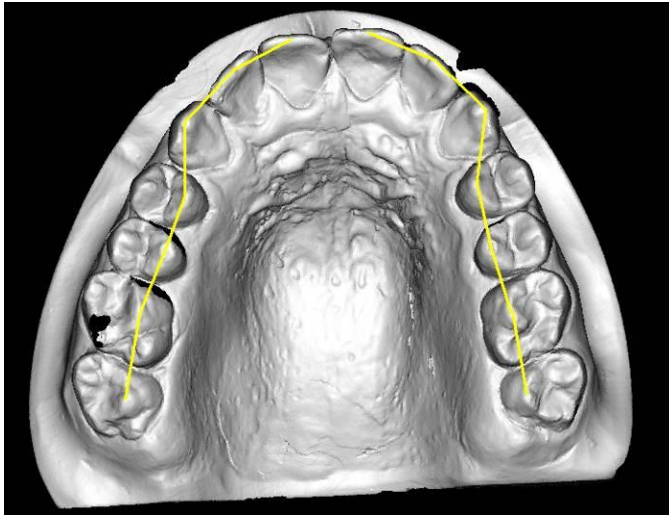


Abbildung 14 Messstrecken des Oberkiefers für die methodischen Messungen der Zahnbogenlänge

- **Zahn 31-32, Zahn 32-33, Zahn 33-34, Zahn 34-35, Zahn 35-36, Zahn 36-37, Zahn 41-42, Zahn 42-43, Zahn 43-44, Zahn 44-45, Zahn 45-46, Zahn 46-47**

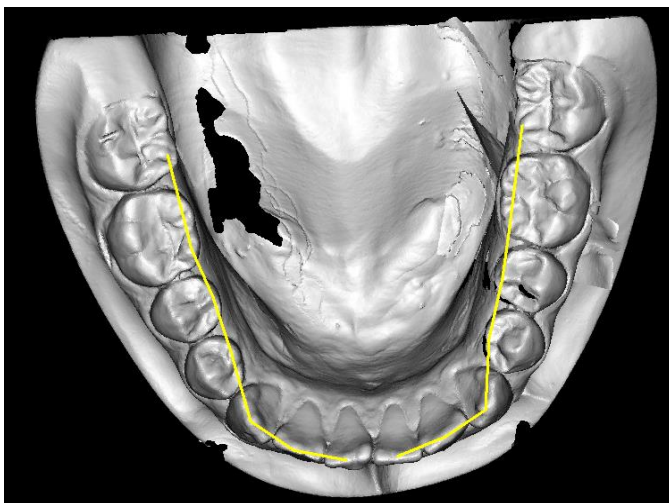


Abbildung 15 Messstrecken des Unterkiefers für die methodischen Messungen der Zahnbogenlänge

3.3.1.3 Methodische Messungen der Zahnbogenbreite

Durch Verbinden der Messpunkte ergaben sich die folgenden, reproduzierbaren Strecken (Abb. 16, 17). Die Werte wurden in Millimeter (mm) registriert.

- Zahn 11-21, Zahn 12-22, Zahn 13-23, Zahn 14-24, Zahn 15-25, Zahn 16-26, Zahn 17-27

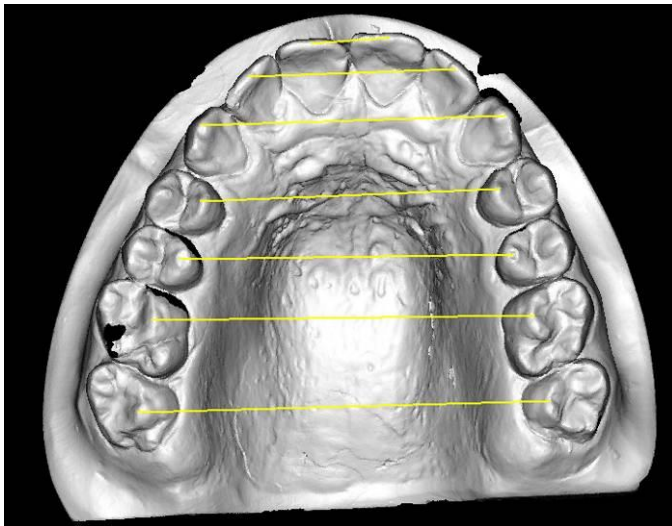


Abbildung 16 Messstrecken des Oberkiefers für die methodischen Messungen der Zahnbogenbreite

- Zahn 31-41, Zahn 32-42, Zahn 33-43, Zahn 34-44, Zahn 35-45, Zahn 36-46, Zahn 37-47

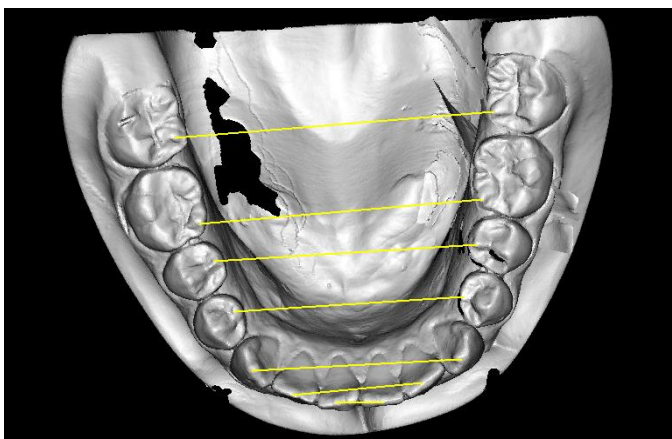


Abbildung 17 Messstrecken des Unterkiefers für die methodischen Messungen der Zahnbogenbreite

3.4 Bogenform

Anhand der statistischen Auswertung kam es nun zur Konstruktion der durchschnittlichen lingualen Bogenform. Verwendung fanden dabei:

- Mittelwert
- Maximum
- Minimum und
- die Standardabweichung.

Zur Konstruktion der Bogenformen wurde das Programm QCad 1.5.1 verwendet. QCad ist ein 2D System der Firma Ribbonsoft. Es ist für technische Zeichnungen entwickelt worden. Das Ziel der Entwicklung war ein einfaches, stabiles und schnelles Programm.

Um mit dem Programm arbeiten zu können, sind CAD Vorkenntnisse nicht erforderlich. Das verwendete Standarddateiformat ist DXF (**D**rawing **I**nterchange **F**ormat).

Das Drawing Interchange Datei Format ist ein Format für den CAD (**C**omputer **A**ided **D**esign) Datenaustausch. Das DXF bildet die kleinste Schnittstelle aller CAD-Systeme.

Material und Methode

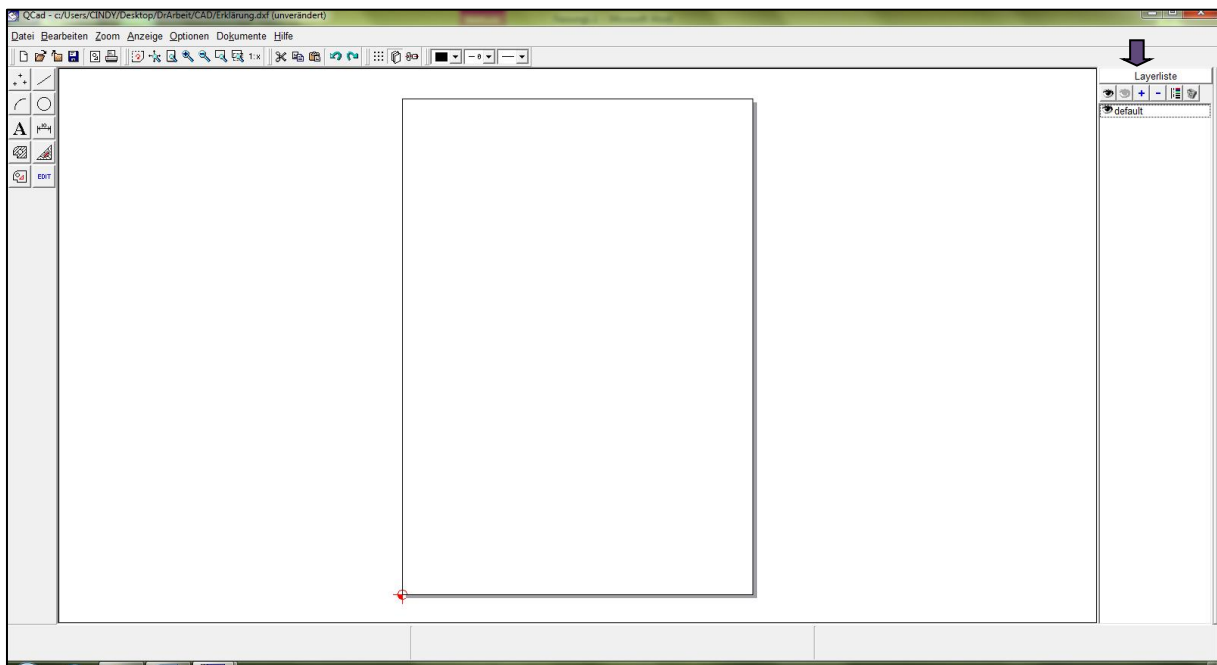


Abbildung 18 Layerlisten, Qcad

Das Programm Qcad 1.5.1 fand hier seine Anwendung, da es möglich war, die in der Statistik ermittelten Werten mm-genau in eine symmetrische Bogenform umzusetzen. Die Symmetrie ließ sich dadurch erreichen, dass die Bogen durch s.g. *Layerlisten* (Abb. 18 ↴) aufgebaut wurden.

Nachfolgend wird nun das genaue Vorgehen beschrieben, exemplarisch dargestellt am Mittelwert des Oberkiefers vor der Behandlung. Der Mittelwert errechnete sich aus den vorher beschriebenen Streckenangaben. Zur besseren Übersicht ist die Darstellung der Konstruktion nicht maßstabsgetreu, sondern vergrößert und farbig dargestellt.

Die Funktionsmenüs sind abgestuft aufgebaut. Es gibt ein Hauptmenü und Untermenüs.

1. Der Mittelwert für die Messstrecke von Zahn 11-21 wurde als **waagerechte Linie** eingezeichnet, und unter der *Layerliste Ergebnisse* gespeichert. Folgende Funktionsmenüs kamen zur Anwendung:

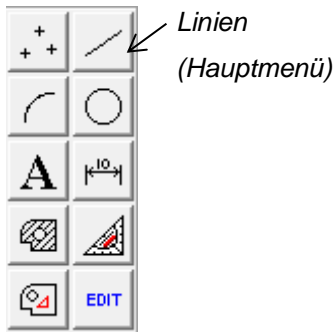


Abbildung 19
Linien
(Hauptmenü),
Qcad

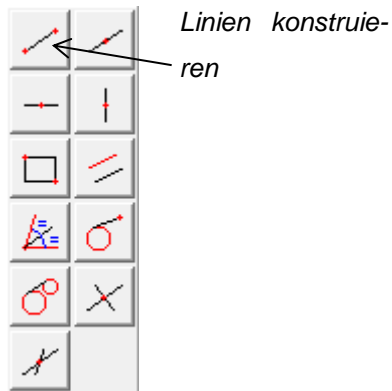


Abbildung 20
Linien
konstruieren,
Qcad

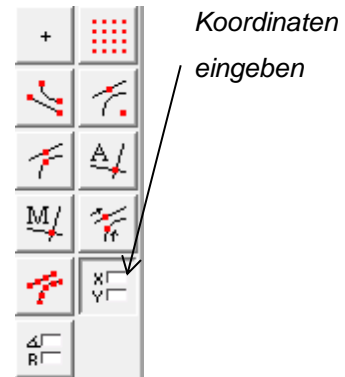


Abbildung 21
Koordinaten
eingeben,
Qcad

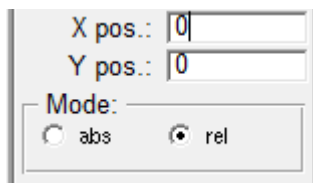


Abbildung 22 Eingabe der
Koordinaten, Qcad

Unter X pos. wird der Wert der Messstrecke von Zahn 11-21 eingegeben

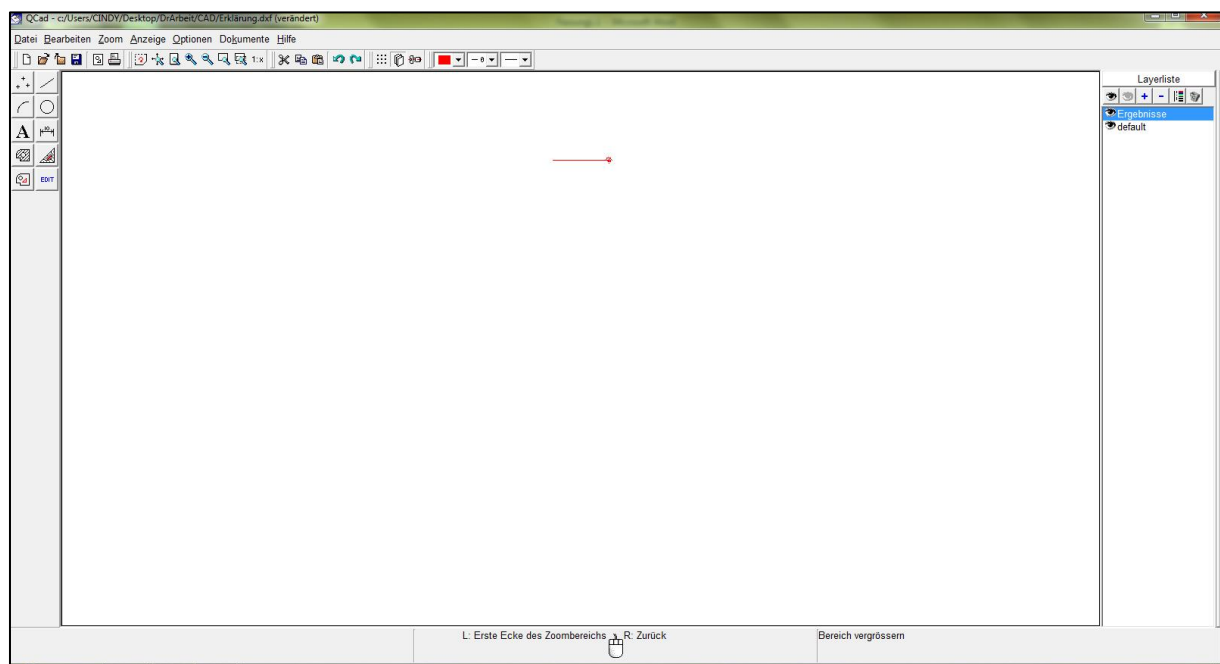
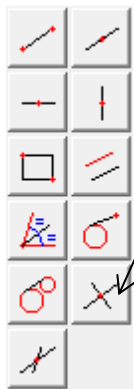


Abbildung 23 Messstrecke Zahn 11-21, Qcad

2. Zu dieser Linie wurde eine **Senkrechte** durch den Mittelpunkt erstellt.



Rechtwinklige Linie erstellen

Abbildung 24
Rechtwinklige Linie erstellen, QCad



Mittelpunkte fangen

Abbildung 25
Mittelpunkt fangen, QCad

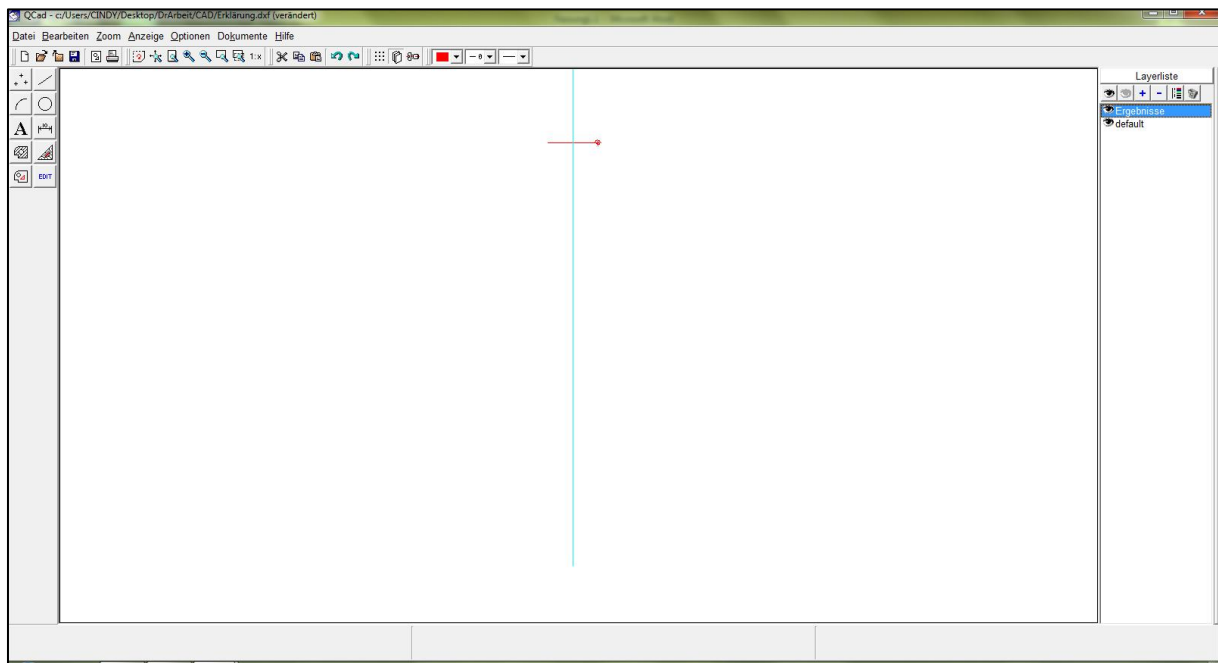


Abbildung 26 Senkrechte zur Messstrecke Zahn 11-21, QCad

3. An den Endpunkten der **Transversalen** wurden **Kreise** eingezeichnet, deren Radius der Messstrecke von Zahn 11-12 bzw. Zahn 21-22 entspricht.

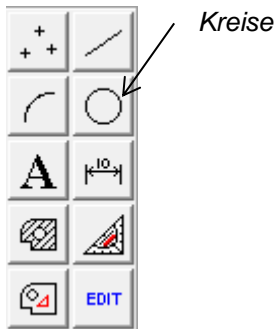


Abbildung 27
Kreise
konstruieren,
QCAD

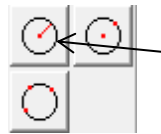


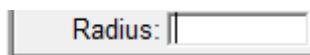
Abbildung 28
Kreise
konstruieren,
QCAD

Kreise mit Zentrum und Radius konstruieren



Endpunkte fangen

Abbildung 29
Endpunkte
fangen, QCad



Messstrecke von Zahn 11-12 bzw. Zahn 21-22

Abbildung 30 Radius als Messstrecke,
QCAD

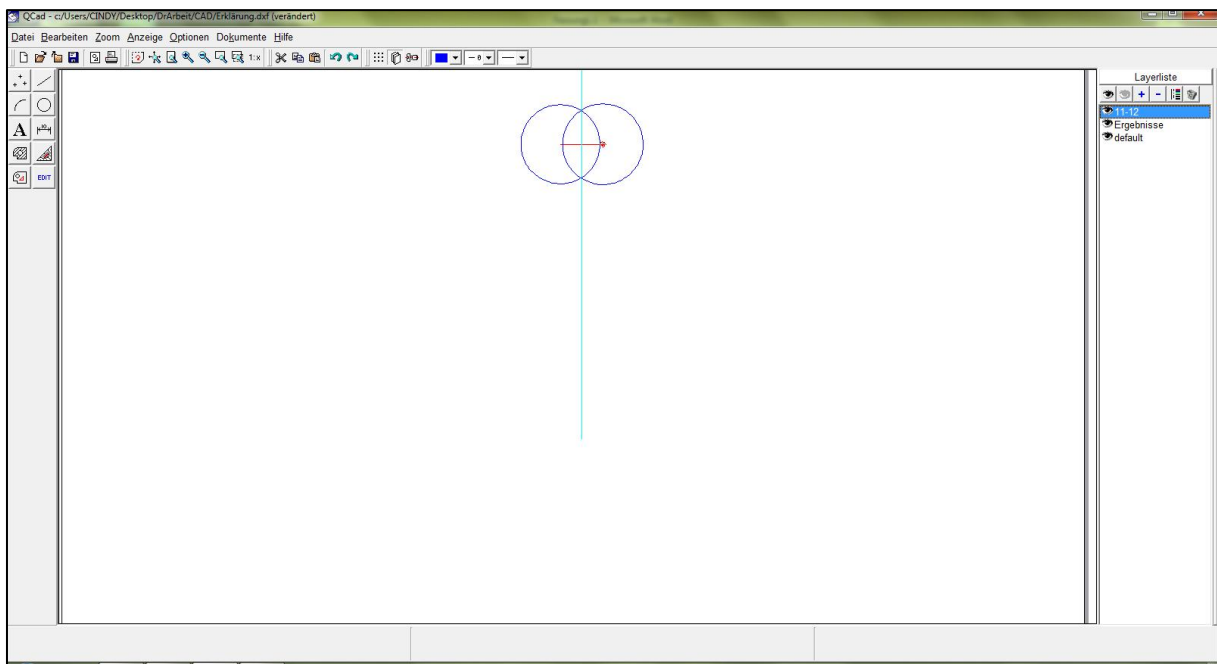


Abbildung 31 Kreise entsprechen den Strecken Zahn 11-12 bzw. Zahn 21-22, QCad

4. Am Endpunkt der **Senkrechten** wurde eine **waagrechte Linie** eingezeichnet in der Länge der Messstrecke von Zahn 12-22. Zunächst gleiches Vorgehen wie unter 1. beschrieben. Ist die **Waagrechte** konstruiert, ist sie noch an den Endpunkt zu verschieben.

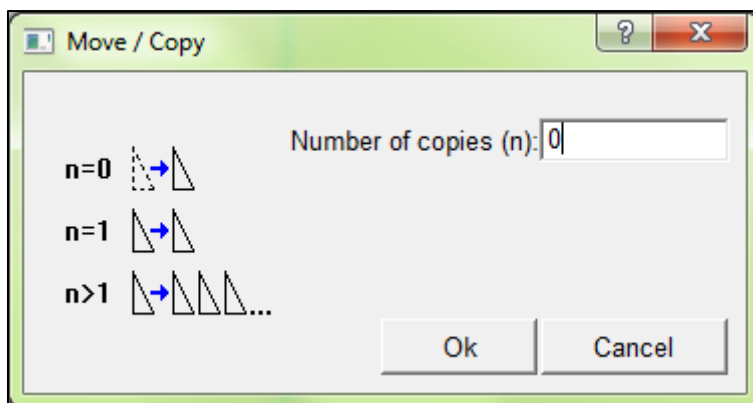
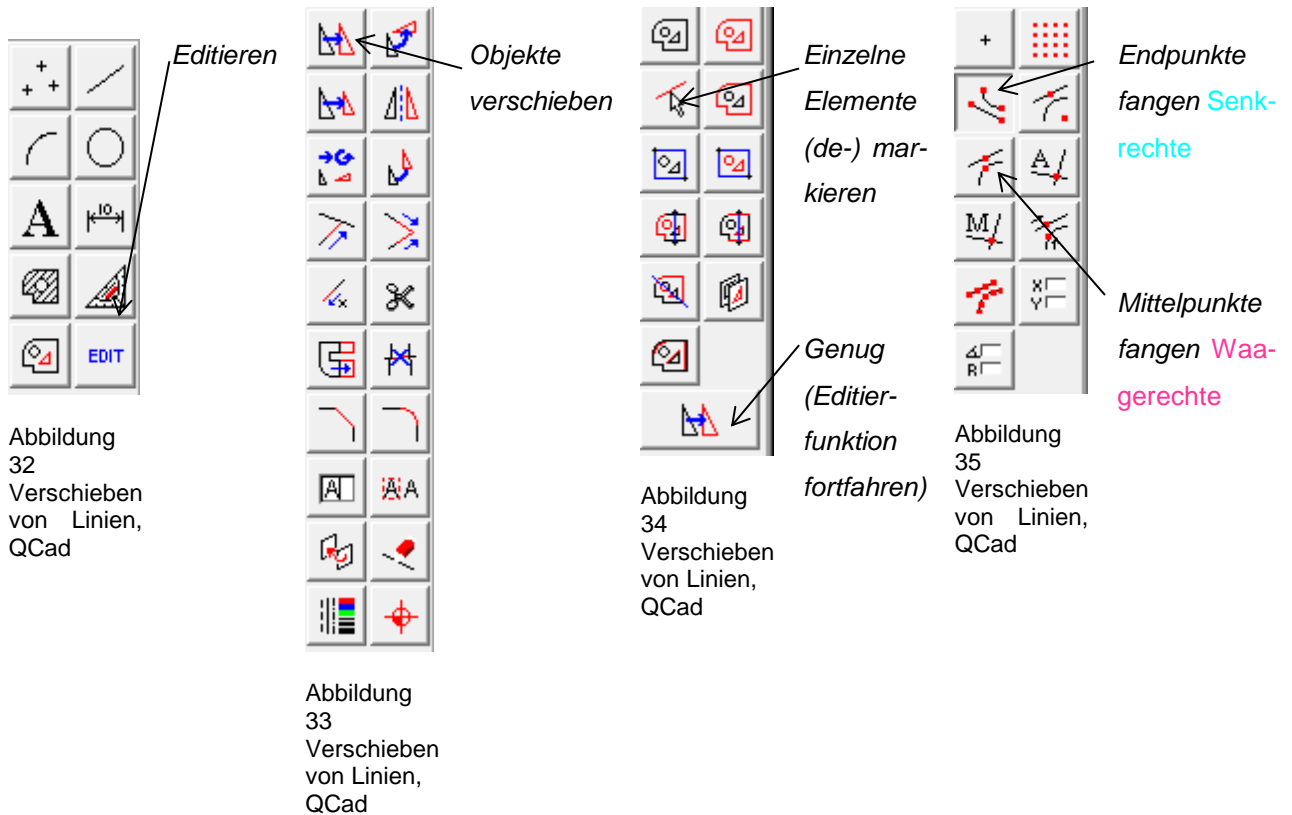


Abbildung 36 Anzahl der Kopien, QCad

Material und Methode

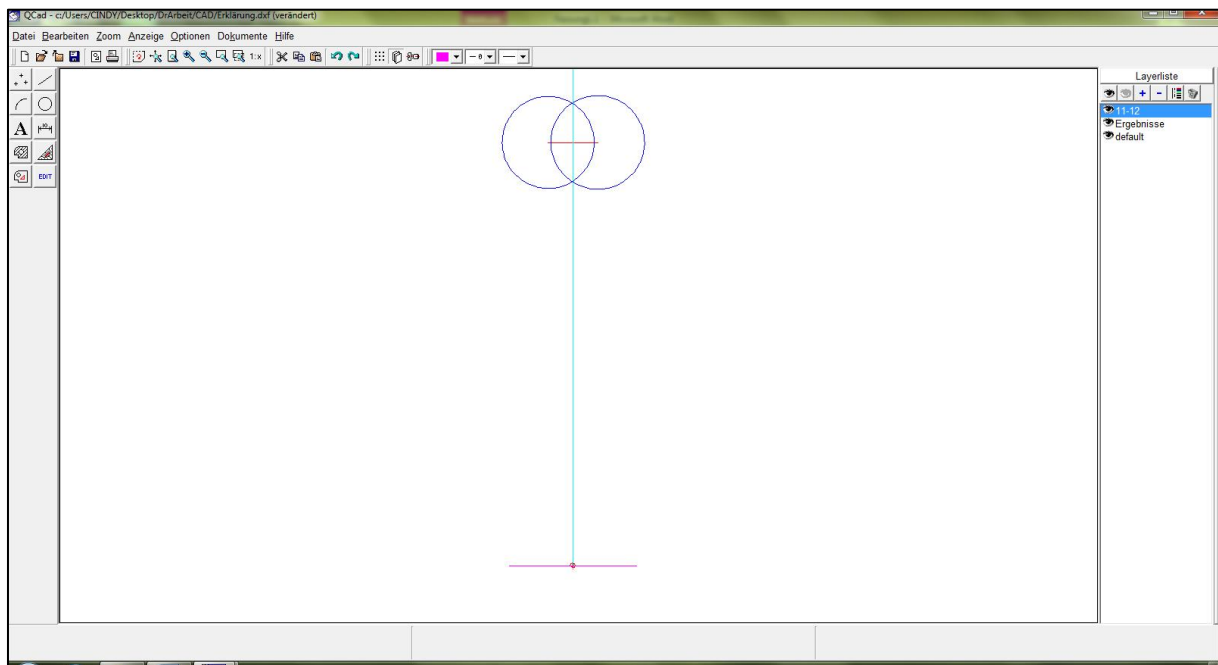
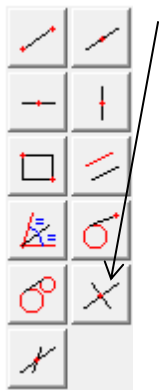


Abbildung 37 Messstrecke von Zahn 12-22 am Endpunkt der Senkrechten, QCad

5. Ausgehend von den Endpunkten der zweiten eingezeichneten **Waagerechten** wurden **Senkrechte** eingezeichnet, die sich mit den **Kreisen** schnitten, die Schritte 2 bis 5 wurden unter *Layerliste 11-12* gespeichert.



Rechtwinkelige Linie erstellen



Endpunkte fangen

Abbildung 38
Schnittpunkte
der
Waagerechten
mit
den
Kreisen,
Qcad

Abbildung 39
Schnittpunkte
der
Waagerechten
mit
den
Kreisen,
Qcad

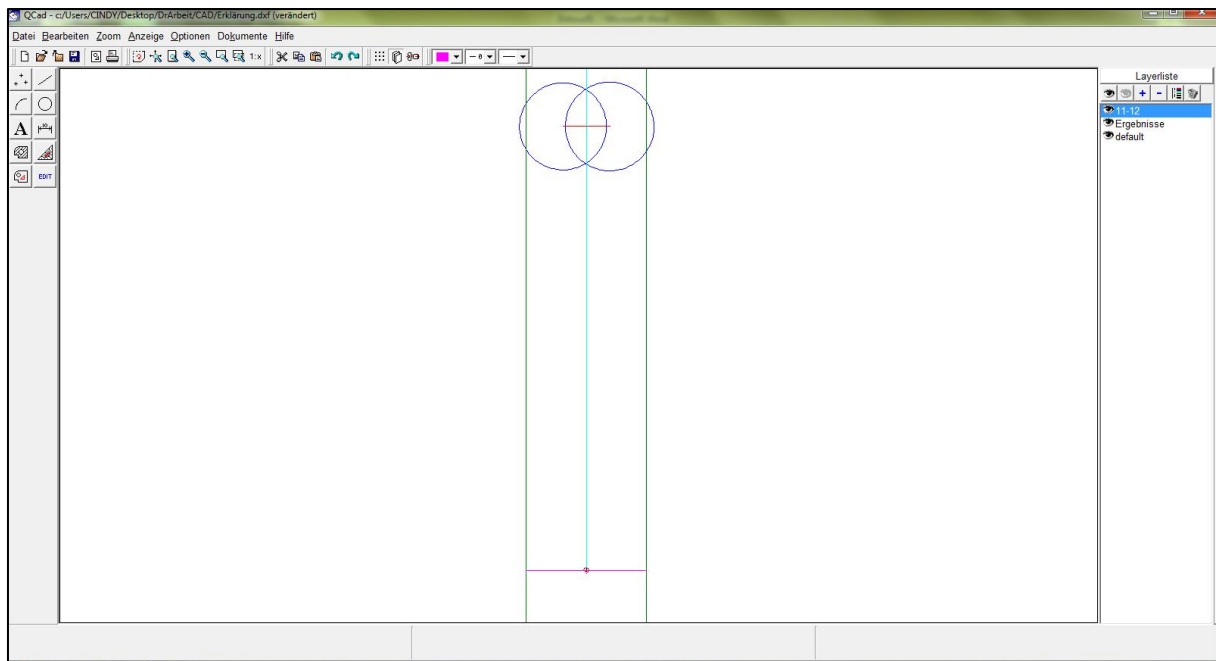


Abbildung 40 Schnittpunkte der Waagerechten mit den Kreisen, Qcad

6. Die Schnittpunkte der **Senkrechten** mit den **Kreisen** wurden mit den Endpunkten der ersten eingezeichneten **Transversalen** verbunden und entsprechen nun den **Messstrecken** für Zahn 11-12 bzw. Zahn 21-22, dies erfolgte unter der *Layerliste Ergebnisse*.

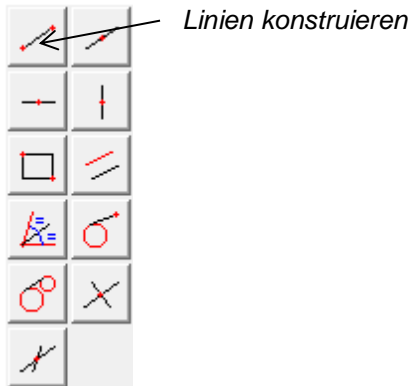


Abbildung 41
Konstruieren
der
Messstrecken
Zahn 11-12
bzw. Zahn
21-22, QCad

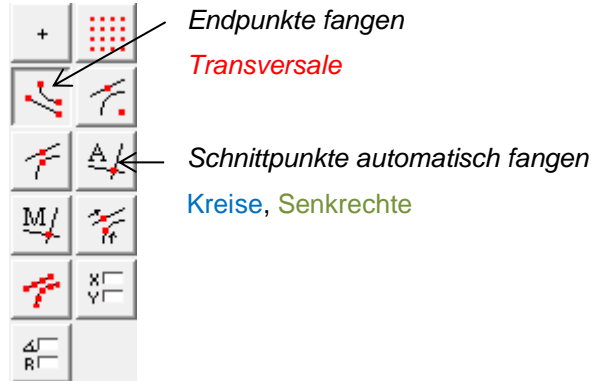


Abbildung 42
Konstruieren
der
Messstrecken
Zahn 11-12
bzw. Zahn
21-22, QCad

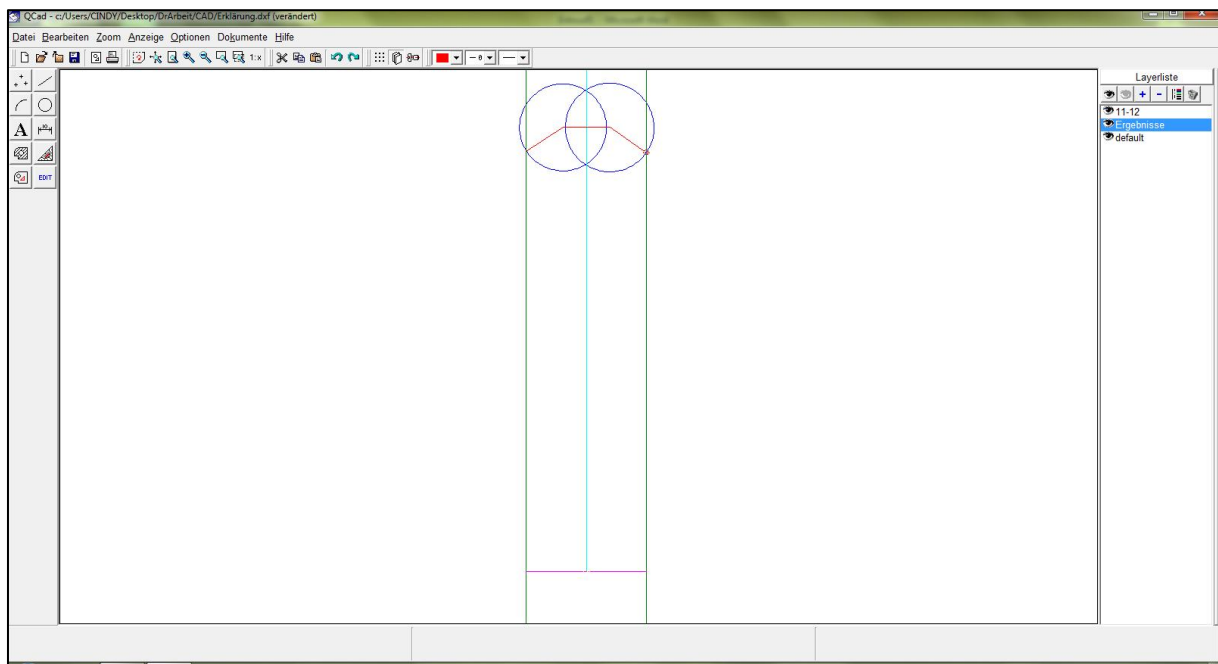


Abbildung 43 Konstruieren der Messstrecken Zahn 11-12 bzw. Zahn 21-22, QCad

7. Die Schnittpunkte der **Kreise** mit der **Senkrechten** wurden nun auch in der **Waagerechten** miteinander verbunden, diese Linie entspricht nun der Messstrecke von Zahn 12-22. Dieser Schritt wurde ebenfalls unter der Layerliste **Ergebnisse** gespeichert.

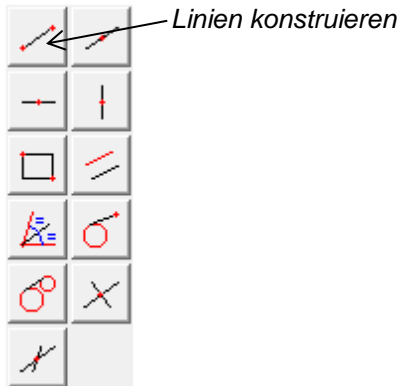


Abbildung
44
Konstruieren
der
Messstrecke
Zahn 12-22,
QCAD

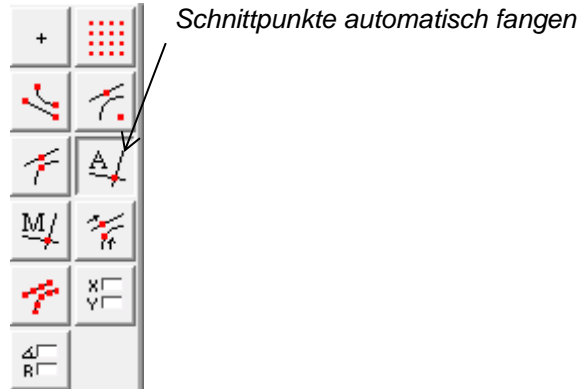


Abbildung
45
Konstruieren
der
Messstrecke
Zahn 12-22,
QCAD

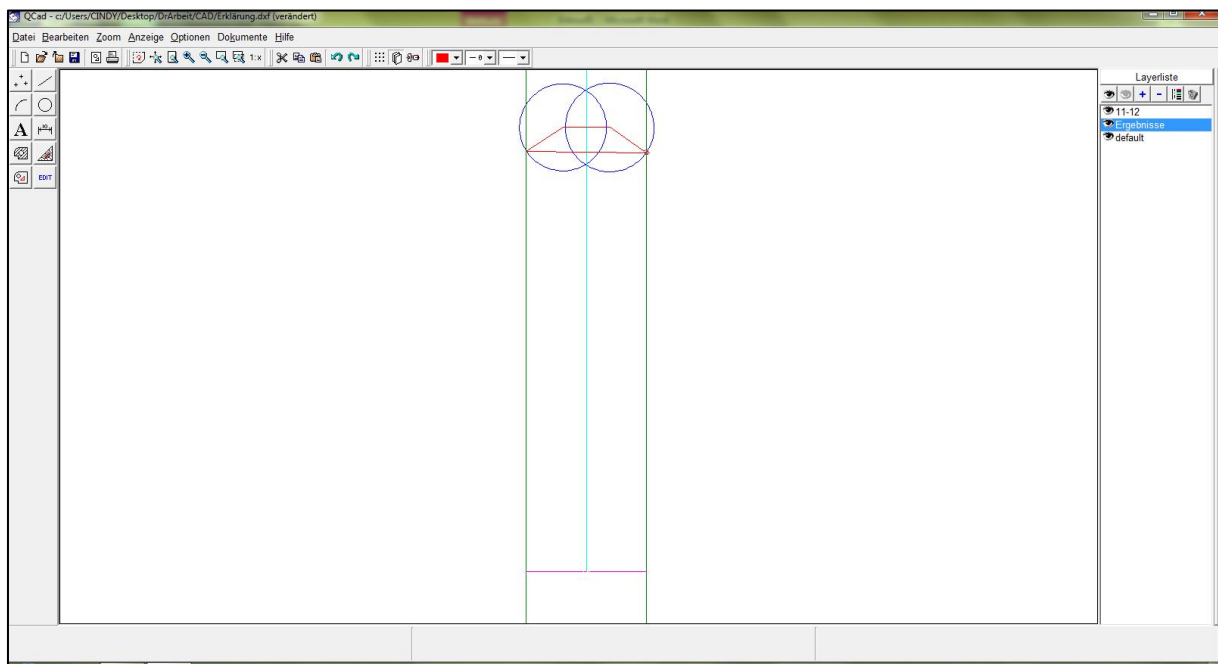


Abbildung 46 Konstruieren der Messstrecke Zahn 12-22,QCAD

8. Ausgehend von der **Transversalen** von Zahn 12-22 wurden nun die Schritte 2 bis 7 mit den entsprechenden Mittelwerten wiederholt. Auch wurden die Layerlisten weitergeführt und passend benannt. Die **Waagerechte** am Endpunkt der **Senkrechten** war eine Hilfslinie und kann wieder gelöscht werden.



Editieren

Abbildung 47
Löschen der
Hilfslinie, Qcad



*Objekte
löschen*

Abbildung 48
Löschen der
Hilfslinie, Qcad

lö-



*Einzelne Ob-
jekte
(de)markieren*

*Genug (Edi-
tierfunktion
fortfahren)*

Abbildung 49
Löschen der
Hilfslinie, Qcad

Material und Methode

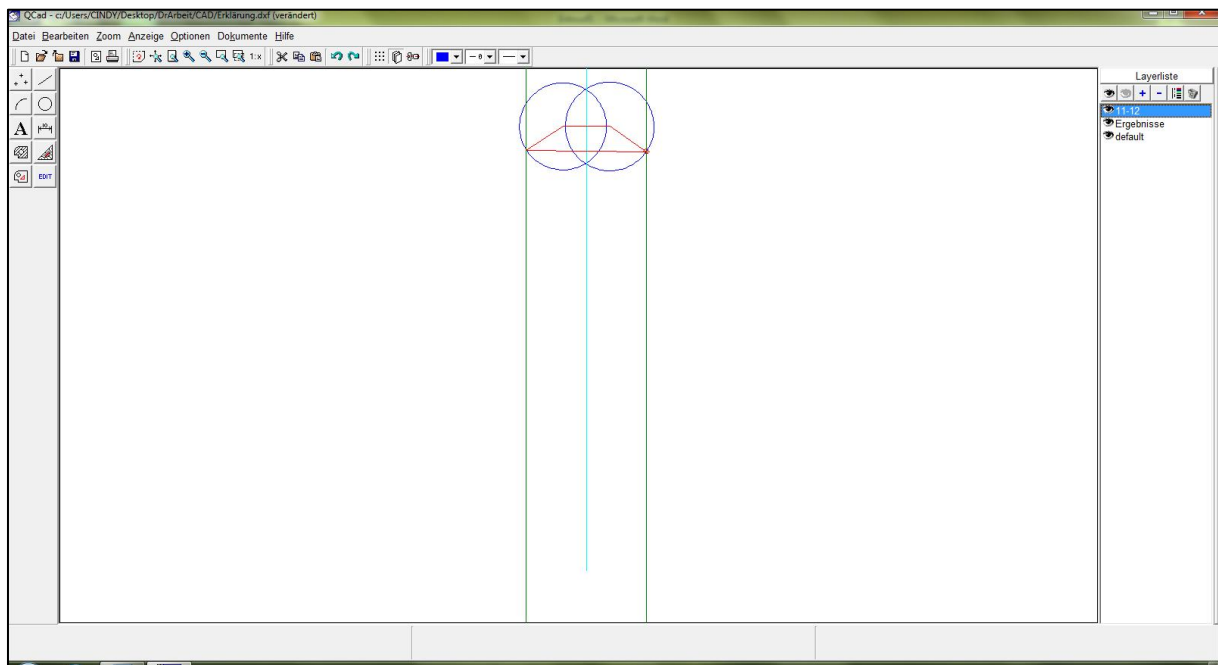


Abbildung 50 Löschen der Hilfslinie, Qcad

Als fertige Konstruktion ergab sich:

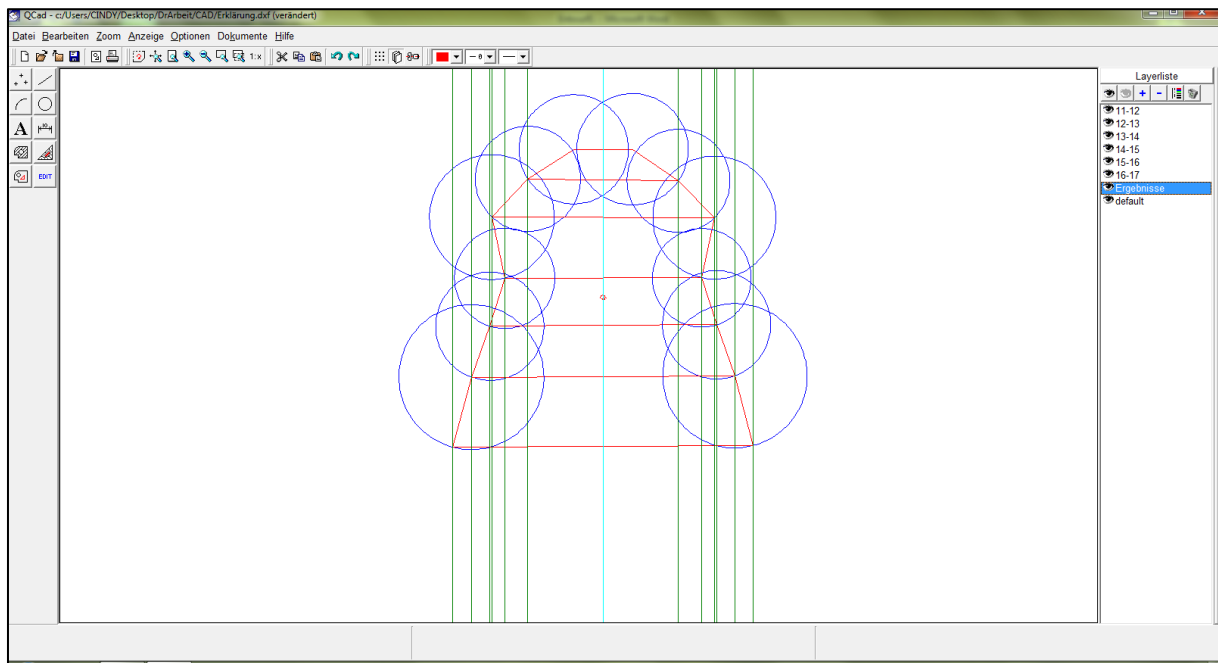


Abbildung 51 Bogenkonstruktion, Qcad

Der aus Mittelwerten konstruierte Bogen (nach Kürzung der **Senkrechten**):

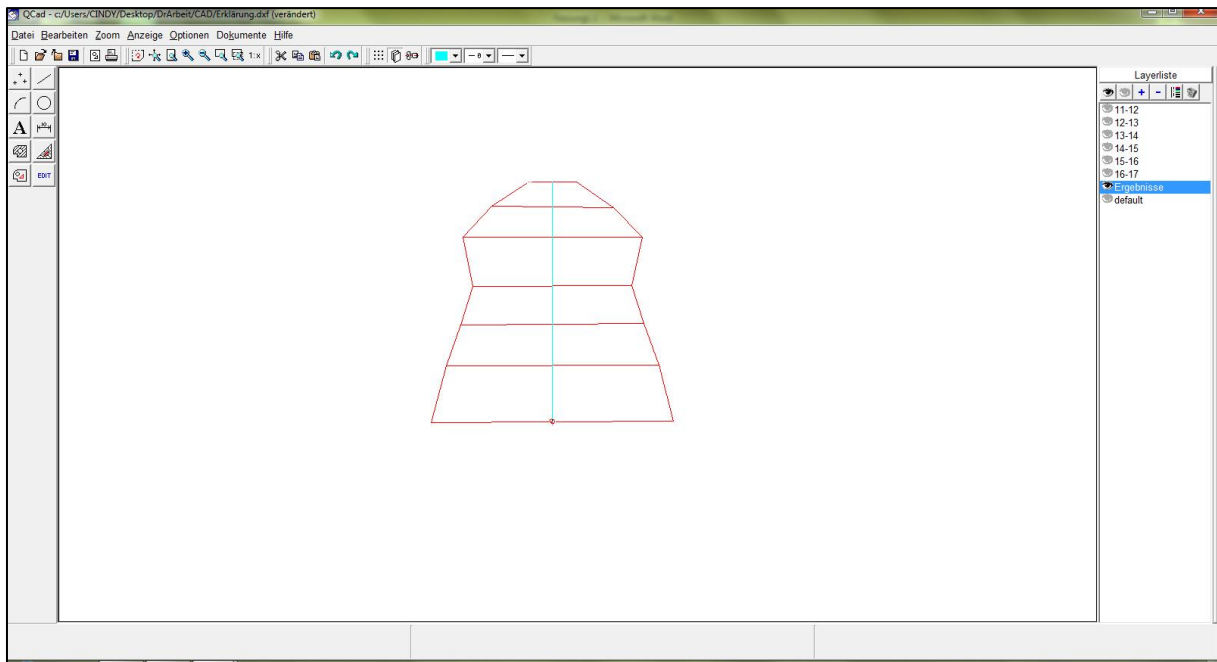



Abbildung 52 Fertige Bogenkonstruktion, QCad

Dies wurde nun für alle Ergebnisse aus Mittelwerten, Maximum und Minimum, sowohl zum Zeitpunkt T1 als auch zum Zeitpunkt T2 durchgeführt.

3.5 Standardabweichung

Die Standardabweichung fand ebenfalls Berücksichtigung. Dafür wurde ein weiterer Layer (Abb. 60 ) erstellt und ausgehend von dem Layer *Ergebnisse* die Strecken um den Betrag der Standardabweichung verlängert. Folgende Funktionsmenüs kamen zur Anwendung:

Material und Methode

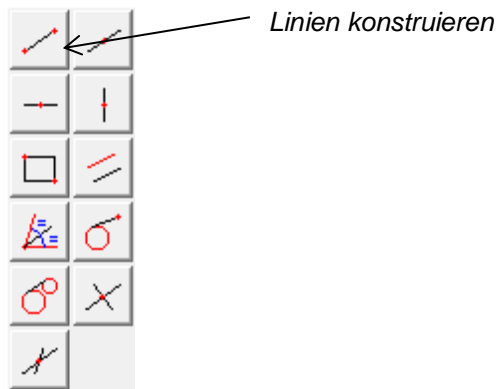


Abbildung 53
Standardabweichung,
Qcad

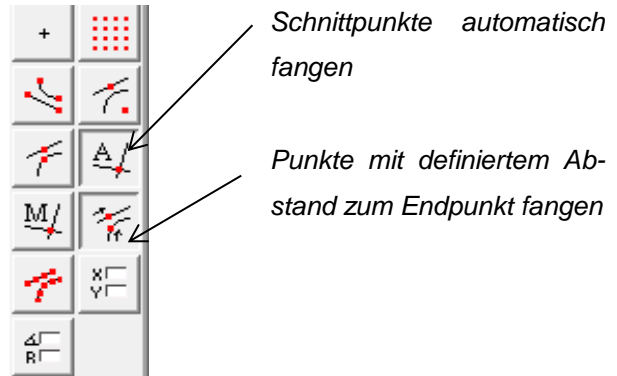


Abbildung 54
Standardabweichung,
Qcad

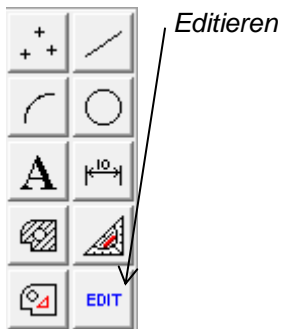


Abbildung 55
Standardabweichung,
Qcad

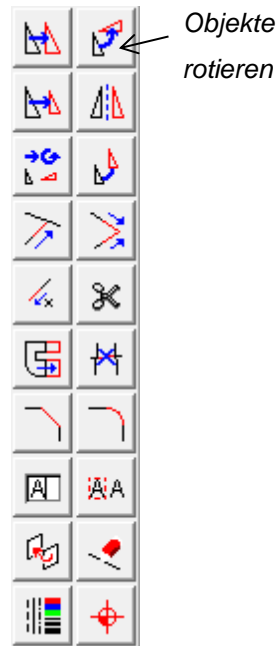


Abbildung 56
Standardabweichung,
Qcad

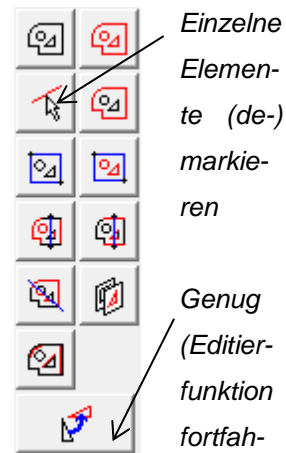


Abbildung 57
Standardabweichung,
Qcad

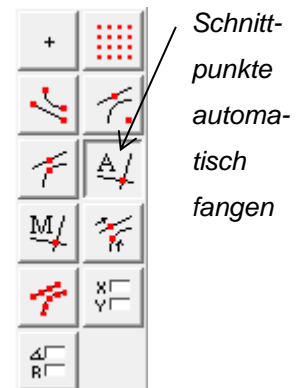


Abbildung 58
Standardabweichung,
Qcad

Material und Methode

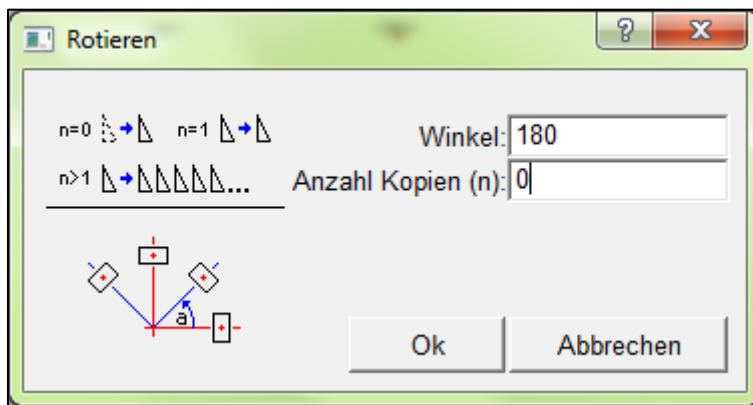


Abbildung 59 Standardabweichung, Winkel 180°, Anzahl Kopien 0, QCad

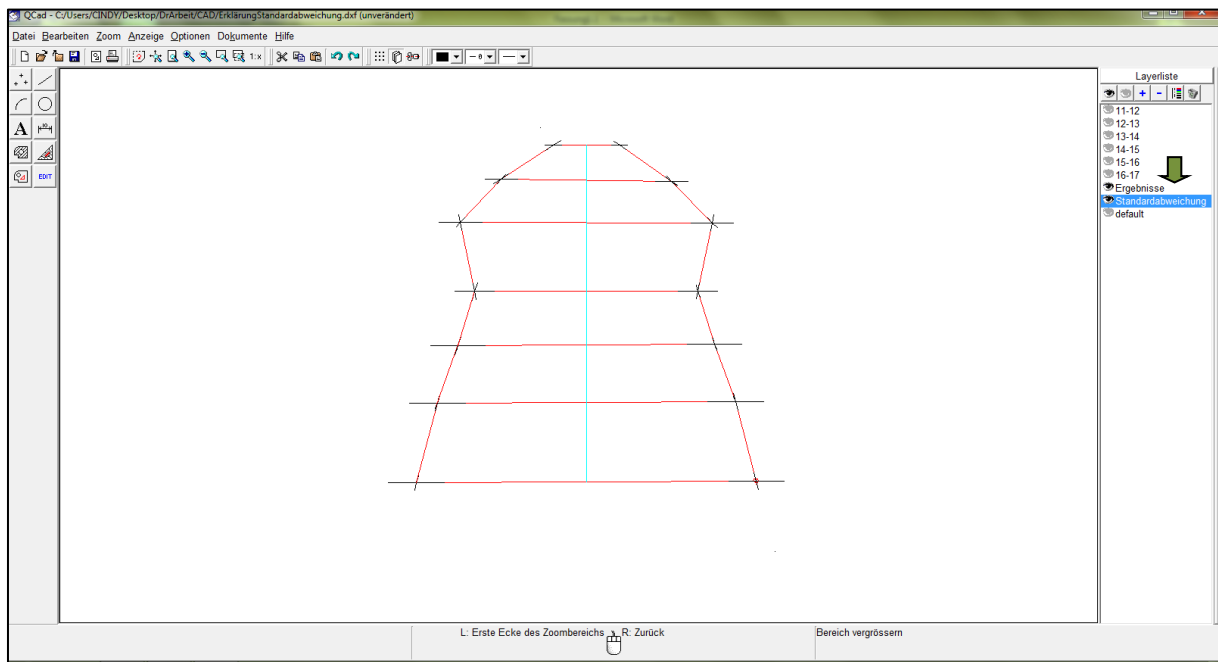


Abbildung 60 Standardabweichung, QCad

3.6 Winkel

Winkelmessungen waren mit dem QCad Programm ebenfalls möglich.

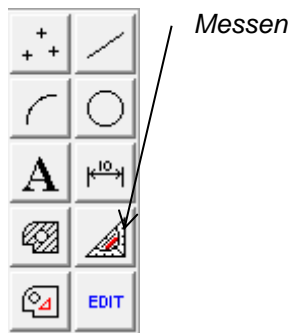


Abbildung 61
Winkel
messen,
QCAD

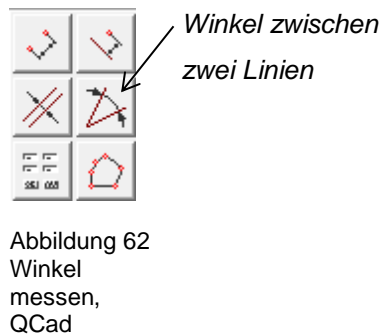


Abbildung 62
Winkel
messen,
QCAD

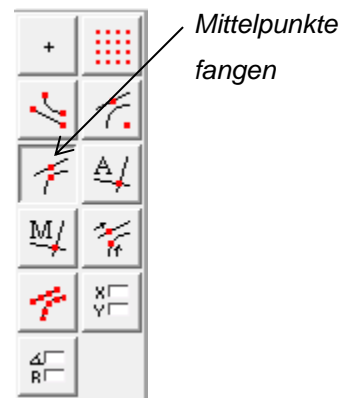


Abbildung 63
Winkel
messen,
QCAD

Es wurden sieben Winkel pro Quadrant ermittelt und in einer Tabelle registriert. Die Messungen wurden an den aus Mittelwerten konstruierten Zahnbogen zu den Zeitpunkten T1 und T2 durchgeführt.

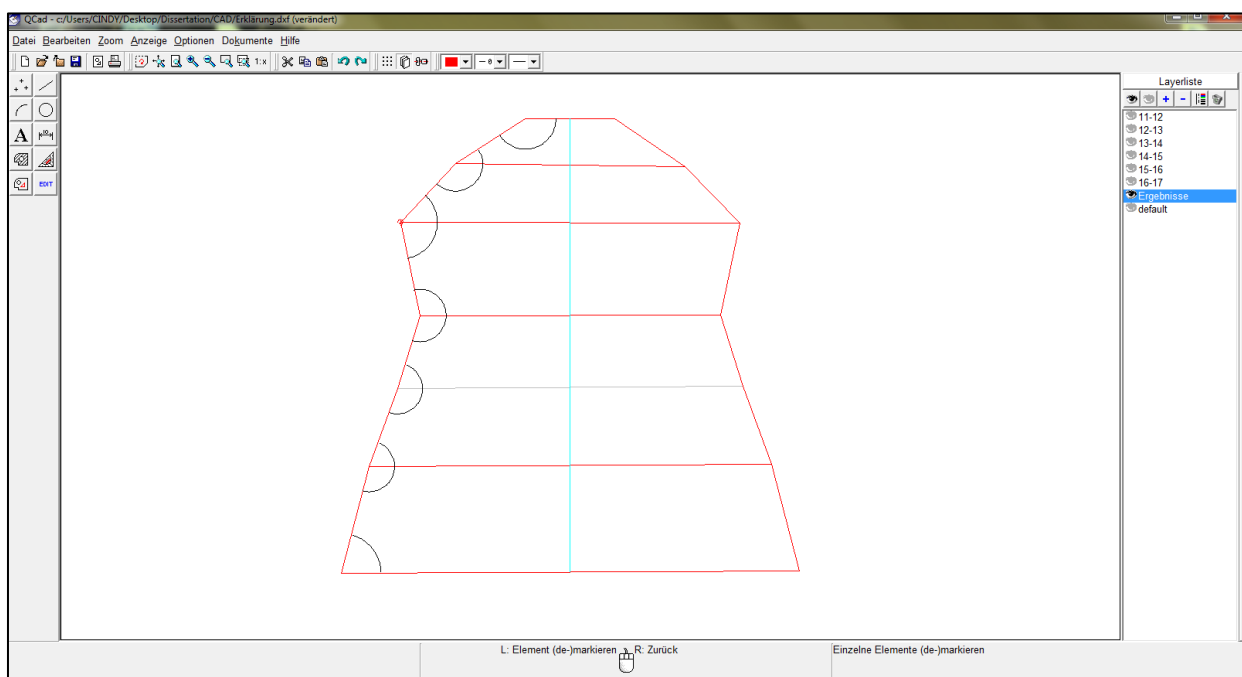


Abbildung 64 Winkel messen, QCad

Folgende Winkel wurden gemessen:

- 11-21↯11-12, 11-12↯12-13, 12-13↯13-14, 13-14↯14-15, 14-15↯15-16, 15-16↯16-17, 16-17↯17-27, 11-21↯21-22, 21-22↯22-23, 22-23↯23-24, 23-24↯24-25, 24-25↯25-26, 25-26↯26-27, 26-27↯17-27
- 31-41↯31-32, 31-32↯32-33, 32-33↯33-34, 33-34↯34-35, 34-35↯35-36, 35-36↯36-37, 36-37↯37-17, 31-41↯41-42, 41-42↯42-43, 42-43↯43-44, 43-44↯44-45, 44-45↯45-46, 45-46↯46-47, 46-47↯47-47

3.7 Statistische Auswertung

Die Datenerfassung erfolgte mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Microsoft Excel 2010 und die Textverarbeitung mit Microsoft Word 2010. Zur statistischen Auswertung diente das Programm SPSS.

Für jede Variable erfolgte die Bestimmung des Mittelwerts, Medians, Maximums und Minimums und der Standardabweichung zu den Zeitpunkten T1 und T2.

3.8 Fehleranalyse

Nach einem erinnerungsfreien Zeitraum wurden zufällig ausgewählte Modelle erneut vermessen, zur Bestimmung des Methodenfehlers bei den methodischen Messungen der Zahnbogenlänge und Zahnbogenbreite. Der Methodenfehler wurde mit der Formel nach DAHLBERG (Dahlberg, 1940) berechnet:

$$MF = \sqrt{\left(\sum \frac{d^2}{2n}\right)}$$

(*d*: Differenz zwischen zwei Messungen; *n*: Fallzahl)

4 Ergebnisse

Die ermittelten Werte wurden tabellarisch dargestellt. Die graphische Darstellung erfolgte durch QCad konstruierte Bogen. Im Folgenden werden die Werte detailliert dargestellt, anschließend die konstruierten Bogen graphisch.

4.1 Patienten

Es wurden $n = 39$, $m = 14$, $w = 25$ Patienten untersucht. Auf eine Geschlechtertrennung wurde verzichtet.

4.1.1 Alter

Das Behandlungsalter lag im Durchschnitt bei $25,64 \pm 13,356$ Jahre. Abbildung 65 und Tabelle 2 stellen die genaue Altersverteilung dar.

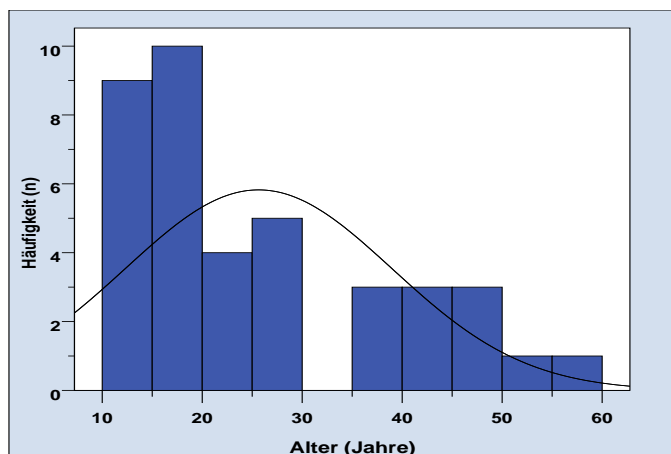


Abbildung 65 Altersverteilung in Jahre

Ergebnisse

N	Gültig	39
	Fehlend	0
Mittelwert		25,64
Median		21,40
Standardabweichung		13,356
Minimum		10
Maximum		57
Perzentile	25	15,05
	50	21,40
	75	36,77

Tabelle 2 Altersverteilung in Jahre

4.1.2 Behandlungsdauer

Die Behandlung dauerte im Durchschnitt $9,30 \pm 4,37$ Monate. Abbildung 66 und Tabelle 3 stellen die genaue Behandlungsdauer dar.

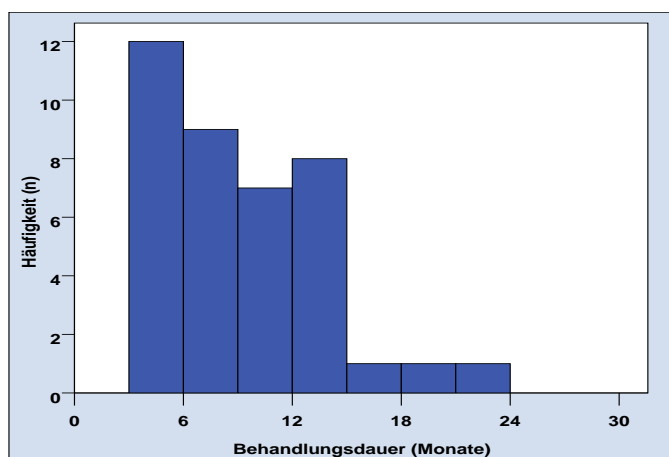


Abbildung 66 Behandlungsdauer in Monate

Ergebnisse

N	Gültig	39
	Fehlend	0
Mittelwert		9,30
Median		8,83
Standardabweichung		4,376
Minimum		3
Maximum		24
Perzentile	25	5,73
	50	8,83
	75	12,00

Tabelle 3 Behandlungsdauer in Monate

4.2 Modellauswertung

Für jede Messstrecke wurden Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum zu den Zeitpunkten T1 und T2 ermittelt und tabellarisch dargestellt.

Der Wilcoxon-Vorzeichenrangtest wurde zum Vergleich der Werte zu beiden Zeitpunkten angewendet. Als Signifikanzniveau wurde $p < 0,05$ (signifikant) festgelegt.

Der kritische z-Wert bei dem zweiseitigen Test ist $\pm 1,96$. Die Z-Werte die gleich groß oder extremer sind, gelten als signifikant.

In den Tabellen wurde zur besseren Übersicht das Vorwort „Zahn“ bei den Messstrecken weggelassen

4.2.1 Streckenmessungen

4.2.1.1 Methodische Messungen der Zahnbogenlänge

Tabelle 4 und 7 zeigen die Ergebnisse der Messstrecken des Ober- und Unterkiefers zu den Zeitpunkten T1 und T2. Tabelle 5, 6, 8 und 9 stellen die Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichenrangtests dar.

Oberkiefer

	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
OK T1 11-12	39	8,1026	0,96777	6,00	10,00
OK T1 12-13	39	7,7949	0,69508	7,00	9,00
OK T1 13-14	35	9,2571	1,24482	6,00	13,00
OK T1 14-15	32	7,4357	1,04534	6,00	9,00
OK T1 15-16	35	8,0286	0,78537	7,00	10,00
OK T1 16-17	32	10,7500	1,19137	9,00	14,00
OK T1 21-22	39	8,2564	0,96567	6,00	11,00
OK T1 22-23	38	7,6316	0,91300	6,00	10,00
OK T1 23-24	34	9,1176	1,03762	7,00	11,00
OK T1 24-25	32	7,3125	0,82060	6,00	9,00
OK T1 25-26	34	8,0294	0,71712	7,00	9,00
OK T1 26-27	31	10,7097	1,13118	8,00	13,00
OK T2 11-12	39	7,6154	0,87706	6,00	9,00
OK T2 12-13	38	7,3684	0,81940	5,00	9,00
OK T2 13-14	35	9,0286	1,20014	6,00	11,00
OK T2 14-15	34	7,4412	1,05000	6,00	11,00
OK T2 15-16	36	7,4722	0,87786	5,00	10,00
OK T2 16-17	36	11,0833	1,15573	8,00	14,00
OK T2 21-22	39	7,8974	0,96777	5,00	10,00
OK T2 22-23	38	7,5263	0,89252	5,00	9,00
OK T2 23-24	35	8,9714	1,01419	7,00	11,00
OK T2 24-25	35	7,4286	1,03713	6,00	10,00
OK T2 25-26	35	7,8857	0,99325	6,00	10,00
OK T2 26-27	33	11,0000	0,93541	9,00	13,00

Tabelle 4 Anzahl, Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimums und Maximums der Messstrecken des Oberkiefers zu den Zeitpunkten T1 und T2 in mm (Zahnbogenlänge)

Ergebnisse

	OK T2 11-12 - OK T1 11-12	OK T2 12-13 - OK T1 12-13	OK T2 13-14 - OK T1 13-14	OK T2 14-15 - OK T1 14-15	OK T2 15-16 - OK T1 15-16	OK T2 16-17 - OK T1 16-17
Z	-2,846 ^a	-2,879 ^a	-1,164 ^a	-0,905 ^a	-3,145 ^a	-1,518 ^b
asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,004	0,004	0,244	0,366	0,002	0,129

Tabelle 5 Wilcoxon-Test

- a) basiert auf positiven Rängen
b) basiert auf negativen Rängen

	OK T2 21-22 - OK T1 21-22	OK T2 22-23 - OK T1 22-23	OK T2 23-24 - OK T1 23-24	OK T2 24-25 - OK T1 24-25	OK T2 25-26 - OK T1 25-26	OK T2 26-27 - OK T1 26-27
Z	-1,992 ^a	-0,809 ^a	-0,398 ^a	-0,489 ^b	-0,887 ^a	-2,055 ^b
asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,046	0,419	0,691	0,625	0,375	0,040

Tabelle 6 Wilcoxon-Test

- a) basiert auf positiven Rängen
b) basiert auf negativen Rängen

Zwischen T1 und T2 werden die Messstrecken Zahn 11-12, Zahn 12-13, Zahn 15-16 und Zahn 21-22 signifikant ($p < 0,05$, $z < -1,96$) kleiner und die Messstrecke Zahn 26-27 signifikant ($p < 0,05$, $z < -1,96$) größer. Die Messstrecken Zahn 13-14, Zahn 14-15, Zahn 22-23, Zahn 23-24 und Zahn 25-26 werden nicht signifikant kleiner. Die Messstrecken Zahn 16-17 und Zahn 24-25 werden nicht signifikant größer.

Ergebnisse

Unterkiefer

	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
UK T1 31-32	37	5,4054	0,83198	4,00	7,00
UK T1 32-33	37	6,2973	0,87765	4,00	8,00
UK T1 33-34	37	9,0541	0,91122	7,00	11,00
UK T1 34-35	34	6,3824	1,20641	3,00	8,00
UK T1 35-36	34	6,7941	0,91385	5,00	8,00
UK T1 36-37	36	11,5278	0,81015	10,00	13,00
UK T1 41-42	39	5,6923	0,83205	4,00	8,00
UK T1 42-43	39	6,0769	1,08542	4,00	8,00
UK T1 43-44	38	8,4737	1,17948	6,00	11,00
UK T1 44-45	37	6,4595	1,21552	4,00	9,00
UK T1 45-46	33	6,9697	1,10354	5,00	11,00
UK T1 46-47	31	11,3548	0,91464	9,00	13,00
UK T2 31-32	37	5,3243	0,66892	4,00	7,00
UK T2 32-33	37	5,8649	0,75138	5,00	7,00
UK T2 33-34	37	8,8649	1,08429	6,00	11,00
UK T2 34-35	32	6,1875	1,22967	4,00	8,00
UK T2 35-36	32	6,7188	0,92403	5,00	9,00
UK T2 36-37	35	11,4286	0,81478	10,00	13,00
UK T2 41-42	39	5,2051	0,57029	4,00	6,00
UK T2 42-43	39	5,8718	0,86388	4,00	8,00
UK T2 43-44	38	8,1316	1,18939	6,00	10,00
UK T2 44-45	37	6,4324	1,34455	4,00	9,00
UK T2 45-46	34	6,8824	1,00799	5,00	11,00
UK T2 46-47	33	11,5758	0,90244	10,00	13,00

Tabelle 7 Anzahl, Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimums und Maximums der Messstrecken des Unterkiefers zu den Zeitpunkten T1 und T2 in mm (Zahnbogenlänge)

Ergebnisse

	UK T2 31-32 - UK T1 31-32	UK T2 32-33 - UK T1 32-33	UK T2 33-34 - UK T2 33-34	UK T2 34-35 - UK T2 34-35	UK T2 35-36 - UK T2 35-36	UK T2 36-37 - UK T2 36-37
Z	-0,619 ^a	-2,381 ^a	-1,061 ^a	-0,883 ^a	-0,277 ^a	-0,500 ^a
asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,536	0,017	0,289	0,377	0,782	0,617

Tabelle 8 Wilcoxon-Test

a) basiert auf positiven Rängen

	UK T2 41-42 - UK T1 41-42	UK T2 42-43 - UK T1 42-43	UK T2 43-44 - UK T2 43-44	UK T2 44-45 - UK T2 44-45	UK T2 45-46 - UK T2 45-46	UK T2 46-47 - UK T2 46-47
Z	-3,115 ^a	-1,048 ^a	-1,753 ^a	-0,147 ^a	-0,832 ^a	-1,732 ^b
asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,002	0,294	0,080	0,883	0,405	0,083

Tabelle 9 Wilcoxon-Test

a) basiert auf positiven Rängen

b) basiert auf negativen Rängen

Zwischen T1 und T2 werden die Messstrecken Zahn 32-33 und Zahn 41-42 signifikant ($p < 0,05$, $z < -1,96$) kleiner. Die Messstrecken Zahn 31-32, Zahn 33-34, Zahn 34-35, Zahn 35-36, Zahn 36-37, Zahn 42-43, Zahn 43-44, Zahn 44-45 und Zahn 45-46 werden nicht signifikant kleiner. Die Messstrecke Zahn 46-47 wird nicht signifikant größer.

4.2.1.2 Methodische Messungen der Zahnbogenbreite

Tabelle 10 und 12 zeigen die Ergebnisse der Messstrecken des Ober- und Unterkiefers zu den Zeitpunkten T1 und T2. Tabelle 11 und 13 stellen die Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichenrangtests dar.

Oberkiefer

	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
OK T1 11-21	39	8,7179	1,07480	6,00	12,00
OK T1 12-22	39	22,3333	2,13163	18,00	28,00
OK T1 13-23	38	33,0000	2,80925	26,00	38,00
OK T1 14-24	34	29,2353	2,55911	24,00	34,00
OK T1 15-25	36	33,6389	3,56293	27,00	40,00
OK T1 16-26	35	39,0286	3,65807	32,00	45,00
OK T1 17-27	32	44,5625	3,62729	37,00	53,00
OK T2 11-21	39	8,2308	0,98573	7,00	10,00
OK T2 12-22	39	22,3333	3,06365	11,00	27,00
OK T2 13-23	38	33,1579	3,57564	18,00	40,00
OK T2 14-24	36	30,1111	3,24062	22,00	36,00
OK T2 15-25	37	34,7838	3,19839	28,00	41,00
OK T2 16-26	35	39,3143	3,20635	33,00	45,00
OK T2 17-27	36	44,5000	3,90969	36,00	53,00

Tabelle 10 Anzahl, Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimums und Maximums der Messstrecken des Oberkiefers zu den Zeitpunkten T1 und T2 in mm (Zahnbogenbreite)

Ergebnisse

	OK T2 11- 21 - OK T1 11- 21	OK T2 12- 22 - OK T1 12- 22	OK T2 13- 23 - OK T1 13- 23	OK T2 14- 24 - OK T1 14- 24	OK T2 15- 25 - OK T1 15- 25	OK T2 16- 26 - OK T1 16- 26	OK T2 17- 27 - OK T1 17- 27
Z	-2,383 ^a	-0,938 ^b	-1,024 ^b	-2,900 ^b	-3,038 ^b	-0,842 ^b	-0,534 ^b
asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,017	0,348	0,306	0,004	0,002	0,400	0,593

Tabelle 11 Wilcoxon-Test

- a) basiert auf positiven Rängen
- b) basiert auf negativen Rängen

Zwischen T1 und T2 wird die Messstrecke Zahn 11-21 signifikant ($p < 0,05$, $z < -1,96$) kleiner und die Messstrecken Zahn 14-24 und Zahn 15-25 signifikant ($p < 0,05$, $z < -1,96$) größer.

Die Messstrecken Zahn 12-22, Zahn 13-23, Zahn 16-26 und Zahn 17-27 werden nicht signifikant größer.

Ergebnisse

Unterkiefer

	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
UK T1 31-41	39	5,2821	0,75911	4,00	7,00
UK T1 32-42	37	15,1622	1,59013	12,00	18,00
UK T1 33-43	39	24,9231	2,33266	20,00	29,00
UK T1 34-44	37	27,2162	3,28410	18,00	33,00
UK T1 35-45	35	30,8286	3,38236	24,00	40,00
UK T1 36-46	32	34,3438	3,50676	26,00	43,00
UK T1 37-47	37	39,9730	3,35399	32,00	46,00
UK T2 31-41	39	5,2308	0,66734	4,00	7,00
UK T2 32-42	37	14,9459	1,95712	11,00	19,00
UK T2 33-43	39	24,3077	2,76400	17,00	29,00
UK T2 34-44	37	27,0270	3,00450	21,00	33,00
UK T2 35-45	33	30,4848	4,16174	18,00	38,00
UK T2 36-46	33	33,7879	3,53339	26,00	41,00
UK T2 37-47	37	39,5135	3,48506	30,00	47,00

Tabelle 12 Anzahl, Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimums und Maximums der Messstrecken des Unterkiefers zu den Zeitpunkten T1 und T2 in mm (Zahnbogenbreite)

	UK T2 31-41	UK T2 32-42	UK T2 33-43	UK T2 34-44	UK T2 35-45	UK T2 36-46	UK T2 37-47
	-	-	-	-	-	-	-
	UK T1 31-41	UK T1 32-42	UK T1 33-43	UK T1 34-44	UK T1 35-45	UK T1 36-46	UK T1 37-47
Z	-0,375 ^a	-0,323 ^a	-0,463 ^a	-0,852 ^a	-1,162 ^a	-2,162 ^a	-2,080 ^a
asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,707	0,747	0,644	0,394	0,245	0,031	0,037

Tabelle 13 Wilcoxon-Test

a) basiert auf positiven Rängen

Zwischen T1 und T2 werden die Messstrecken Zahn 36-46 und Zahn 37-47 signifikant ($p < 0,05$, $z < -1,96$) kleiner.

Die Messstrecken Zahn 31-41, Zahn 32-42, Zahn 33-43, Zahn 34-44 und Zahn 35-45 werden nicht signifikant kleiner.

4.3 Bogenform

Die Einzelmessstrecken zusammengefasst ergaben eine Gesamtgeometrie, die folgenden lingualen Bogenformen entspricht.

Mittelwert Oberkiefer zum Zeitpunkt T1

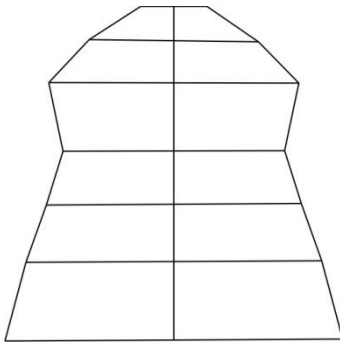


Abbildung 67 Bogenform Mittelwert Oberkiefer zum Zeitpunkt T1

Minimum Oberkiefer zum Zeitpunkt T1

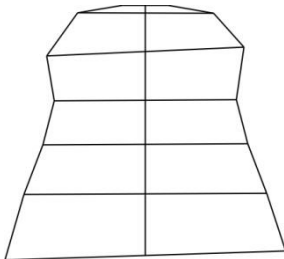


Abbildung 68 Bogenform Minimum Oberkiefer zum Zeitpunkt T1

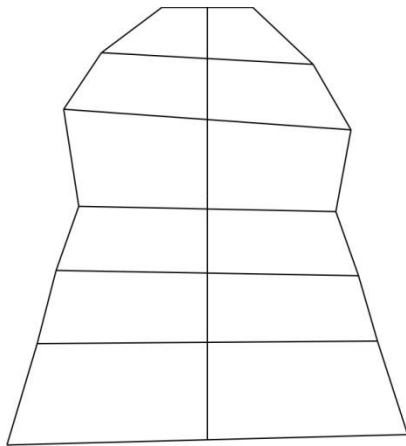
Maximum Oberkiefer zum Zeitpunkt T1

Abbildung 69 Bogenform Maximum Oberkiefer zum Zeitpunkt T1

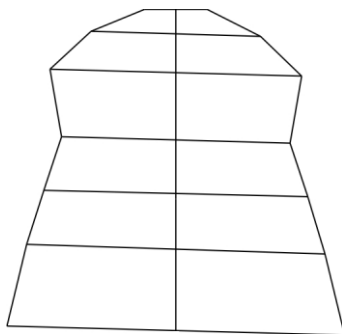
Mittelwert Oberkiefer zum Zeitpunkt T2

Abbildung 70 Bogenform Mittelwert Oberkiefer zum Zeitpunkt T2

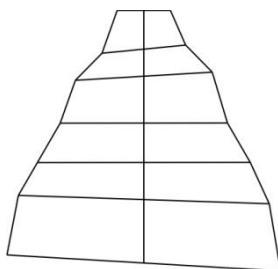
Minimum Oberkiefer zum Zeitpunkt T2

Abbildung 71 Bogenform Minimum Oberkiefer zum Zeitpunkt T2

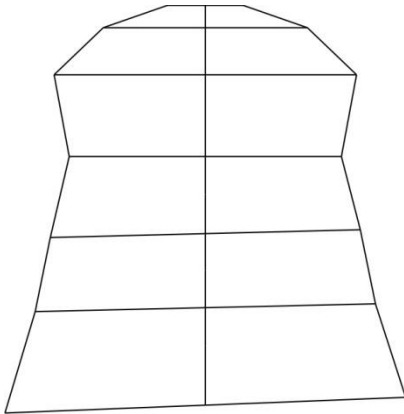
Maximum Oberkiefer zum Zeitpunkt T2

Abbildung 72 Bogenform Maximum Oberkiefer zum Zeitpunkt T2

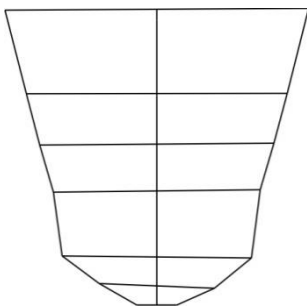
Mittelwert Unterkiefer zum Zeitpunkt T1

Abbildung 73 Bogenform Mittelwert Unterkiefer zum Zeitpunkt T1

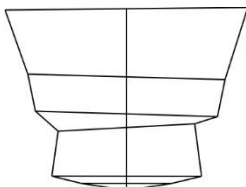
Minimum Unterkiefer zum Zeitpunkt T1

Abbildung 74 Bogenform Minimum Unterkiefer zum Zeitpunkt T1

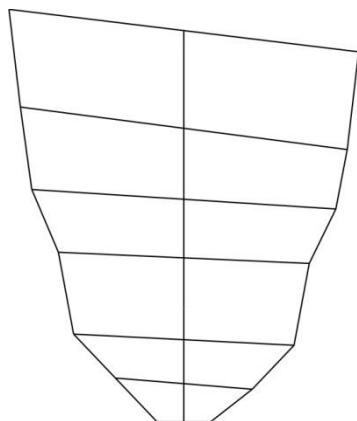
Maximum Unterkiefer zum Zeitpunkt T1

Abbildung 75 Bogenform Maximum Unterkiefer zum Zeitpunkt T1

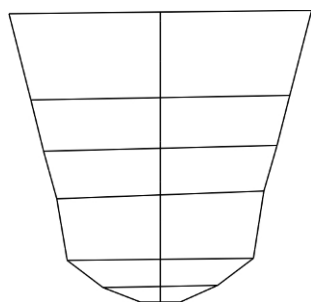
Mittelwert Unterkiefer zum Zeitpunkt T2

Abbildung 76 Bogenform Mittelwert Unterkiefer zum Zeitpunkt T2

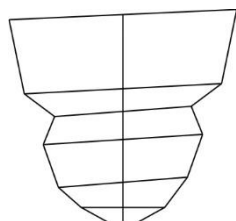
Minimum Unterkiefer zum Zeitpunkt T2

Abbildung 77 Bogenform Minimum Unterkiefer zum Zeitpunkt T2

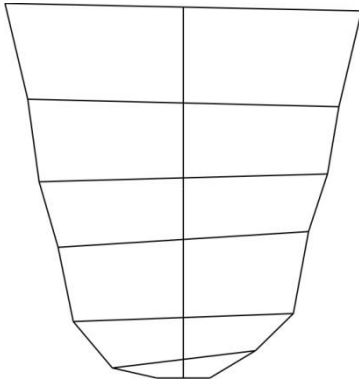
Maximum Unterkiefer zum Zeitpunkt T2

Abbildung 78 Bogenform Maximum Unterkiefer zum Zeitpunkt T2

Ergebnisse

Durch die Zusammenfassung aller Parameter (Zahnbogenlänge, Zahnbogenbreite, Behandlungszeitpunkte T1 und T2) wurde ein Standardbogen für die 2D Lingualtechnik ermittelt:

Standardbogen Oberkiefer für die 2D Lingualtechnik

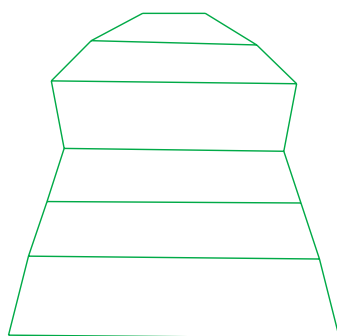


Abbildung 79 Standardbogen Oberkiefer für die 2D Lingualtechnik

Zahnbogenbreite in mm:	Zahnbogenlänge in mm:	
8,47435	1.Quadrant:	2. Quadrant:
22,3333	7,859	8,0769
33,07895	7,58165	7,57895
29,6732	9,14285	9,0445
34,21135	7,43845	7,37055
39,17145	7,7504	7,95755
44,53125	10,91665	10,85485

Tabelle 14 Standardbogen Oberkiefer

Standardbogen Unterkiefer für die 2D Lingualtechnik

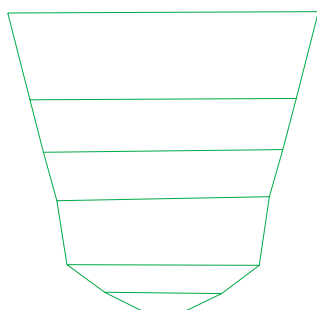


Abbildung 80 Standardbogen Unterkiefer für die 2D Lingualtechnik

Zahnbogenbreite in mm:	Zahnbogenlänge in mm:	
39,74325	4. Quadrant:	3. Quadrant:
34,06585	11,4653	11,4782
30,6567	6,92605	6,75645
27,1216	6,44595	6,28459
24,6154	8,30265	8,9595
15,05405	5,97435	6
5,25645	5,4487	5,32485

Tabelle 15 Standardbogen Unterkiefer

4.4 Standardabweichung

Standardabweichung Oberkiefer zum Zeitpunkt T1

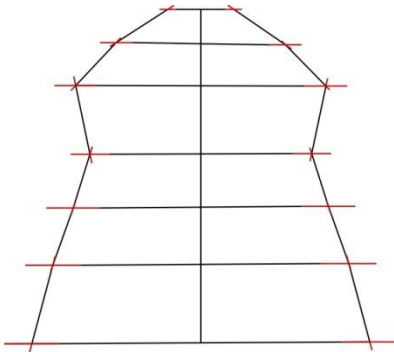


Abbildung 81 Bogenform Oberkiefer zum Zeitpunkt T1 mit Standardabweichung

Standardabweichung Oberkiefer zum Zeitpunkt T2

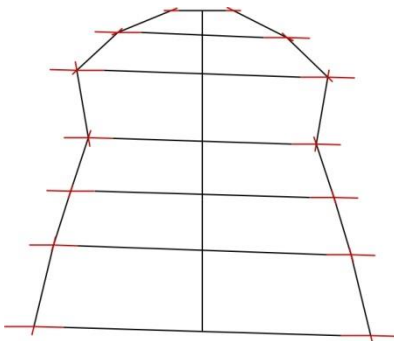


Abbildung 82 Bogenform Oberkiefer zum Zeitpunkt T2 mit Standardabweichung

Standardabweichung Unterkiefer zum Zeitpunkt T1

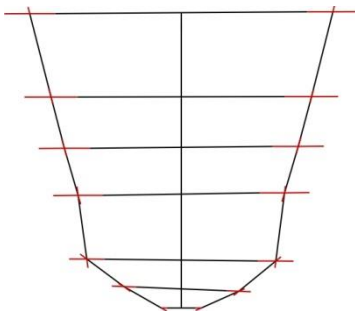


Abbildung 83 Bogenform Unterkiefer zum Zeitpunkt T1 mit Standardabweichung

Standardabweichung Unterkiefer zum Zeitpunkt T2

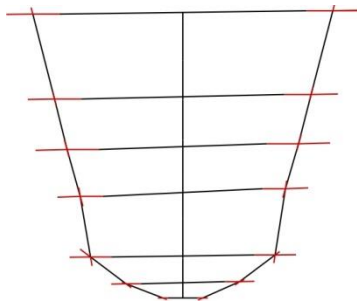


Abbildung 84 Bogenform Unterkiefer zum Zeitpunkt T2 mit Standardabweichung

4.5 Winkel

In der Tabelle des Anhangs (sh S. 88, Kapitel 9.2) sind die Winkelmessungen zu entnehmen.

Im Bereich der Off-Set-Biegungen sind relativ kleine Winkeländerungen in den Bogen des Mittelwertes zu beobachten.

Im Oberkiefer änderten sich die Winkel durchschnittlich um $3,449^\circ$. Dabei kam es sowohl zu Vergrößerungen als auch zu Verkleinerungen. Eine Tendenz war nicht zu erkennen. Der Winkel $12-13 \times 13-14$ verkleinerte sich vom Zeitpunkt T1 zum Zeitpunkt T2 von $125,062^\circ$ auf $122,992^\circ$. Der Winkel $13-14 \times 14-15$ verkleinerte sich von $208,913^\circ$ auf $208,014^\circ$. Die Werte lagen mit $2,07^\circ$ bzw. $0,899^\circ$ unter dem Durchschnittswert. Gleiches war für den 2. Quadranten zu beobachten. $22-23 \times 23-24$ zeigte eine Vergrößerung von $123,74^\circ$ auf $124,229^\circ$ und $23-24 \times 24-25$ eine Verkleinerung von $209,411^\circ$ auf $208,105^\circ$. Die Winkeländerungen von $0,489^\circ$ und $1,306^\circ$ waren auch hier unterdurchschnittlich.

Im Unterkiefer änderten sich die Winkel durchschnittlich um $2,177^\circ$. Dabei kam es sowohl zu Vergrößerungen als auch zu Verkleinerungen. Eine Tendenz war nicht zu erkennen. Der Winkel $32-33 \times 33-34$ vergrößerte sich vom Zeitpunkt T1 zum Zeitpunkt T2 von $134,421^\circ$ auf $136,759^\circ$. Der Winkel $33-34 \times 34-35$ verkleinerte sich von $188,422^\circ$ auf $185,932^\circ$. Die Werte lagen mit $2,338^\circ$ bzw. $2,49^\circ$ knapp über dem Durchschnittswert. Anders im 4. Quadranten, der Winkel $42-43 \times 43-44$ zeigte eine

Ergebnisse

Verkleinerung von $136,531^\circ$ auf $135,83^\circ$ und 43-44-45 eine Verkleinerung von $189,134^\circ$ auf $187,351^\circ$. Die Winkeländerungen von $0,701^\circ$ und $1,783^\circ$ waren unterdurchschnittlich.

4.6 Fehleranalyse

Der errechnete Methodenfehler ist Tabelle 16 zu entnehmen.

	Dahlberg
OK Messung Zeitpunkt T1 Zahnbogenlänge in mm	0,37
UK Messung Zeitpunkt T1 Zahnbogenlänge in mm	0,33
OK Messung Zeitpunkt T1 Zahnbogenbreite in mm	0,38
UK Messung Zeitpunkt T1 Zahnbogenbreite in mm	0,27
OK Messung Zeitpunkt T2 Zahnbogenlänge in mm	0,76
UK Messung Zeitpunkt T2 Zahnbogenlänge in mm	0,37
OK Messung Zeitpunkt T2 Zahnbogenbreite in mm	0,41
UK Messung Zeitpunkt T2 Zahnbogenbreite in mm	0,41

Tabelle 16 Methodenfehler nach Dahlberg

Der Methodenfehler sollte < 1 betragen – dies ist hier in allen Messungen ganz deutlich gegeben.

5 Diskussion

Stabile Behandlungsergebnisse sind nur durch die passende Bogenform zu verwirklichen (Felton et al., 1987). Die Bogenform orientiert sich an der prätherapeutischen Bogenform der Patienten (de la Cruz et al., 1995; Felton et al., 1987). In den letzten Jahren kam es zu einer Verbreiterung der superelastischen Bogen und damit zu einer Abweichung der natürlichen Bogenform (Braun et al., 1999).

5.1 Patienten

In dieser Studie wurden keine Unterschiede bezüglich des Alters gemacht. Die ältesten Patienten waren während der Behandlung 57 Jahre und die jüngsten 10 Jahre alt.

Auch hinsichtlich des Geschlechts wurden keine Unterscheidungen getroffen. In einer Studie von LOMBARDO et al. (2010) wurde bestätigt, dass es keine Unterschiede bei den Geschlechtern gibt.

In der vorliegenden Studie wurden ethnische Gruppen nicht unterschieden; die ausgewählten Modelle stammten von Kaukasiern. Die Bogenformen der ethnischen Gruppen unterscheiden sich, wie in einer Vielzahl an Studien belegt (Bayome et al., 2011; Burris and Harris, 2000; Gafni et al., 2011; Kook et al., 2004; Nojima et al., 2001).

Es ist nicht auszuschließen, dass Patienten durch Fehlverhalten, zum Beispiel Benutzung ihrer Zähne als Werkzeug (Verpackungs- oder Flaschenöffner und dergleichen) den Bogen oder die Brackets beschädigt haben könnten. Während des Behandlungszeitraumes wurden die Patienten dahingehend ausführlich instruiert und kontrolliert.

Fehlende Messstrecken sind darauf zurückzuführen, dass vor allem bei älteren Patienten Zähne fehlten, oder bei jüngeren zum Zeitpunkt T1 noch nicht alle Zähne durchgebrochen waren.

Wichtigstes Kriterium bei der Patientenwahl war: keine vorherige kieferorthopädische Behandlung. Zuvor durchgeführte kieferorthopädische Behandlungen hätten den Zahnbogen sonst bereits verändert (de la Cruz et al., 1995; Felton et al., 1987; Franchi et al., 2006; Ward et al., 2006) und dies hätte dazu geführt, dass die Situation zum Zeitpunkt T1 nicht korrekt dargestellt worden wäre.

5.2 Behandlungstechnik

Bei der vorliegenden Studie wurde eine Bracketform für alle Zähne verwendet. Das Bracket zeichnet sich durch seine geringe Dicke (1,3mm) aus, wodurch sich die Unannehmlichkeiten für den Patienten minimierten und die Gewöhnung rasch einstellte. Die sonst bei Behandlungsbeginn auftretenden Probleme, wie Irritationen der Zunge, Erschwerung der Kau- und Abbeißfunktion und Sprachstörungen (Miyawaki et al., 1999) scheinen minimiert (Ludwig et al., 2012a; Ludwig et al., 2012b). Das 2D Lingual Behandlungskonzept wurde erstmals 2000 in Brüssel vorgestellt und seitdem weiter entwickelt. Es sind bisher nur wenige Publikationen zum Thema erschienen. 2002 bestätigte MACCHI die Praxistauglichkeit (Macchi et al., 2002), genau wie CACCIAFESTA und SFONDRINI (2006). Der größte Vorteil besteht darin, dass kein Ziel-Set-up-Modell benötigt wird, sondern die Brackets direkt im Patientenmund geklebt werden können. Positionierungsfehler wurde durch Verwendung einer Bracketpositionierungspinzette auf ein Minimum herabgesetzt (Ludwig et al., 2010). Die Notwendigkeit nur ein Bracket vorrätig zu haben, wirkt sich positiv auf das Kosten-Nutzen-Verhältnis aus.

Es gibt sechs Größen von vorkonfektionierten Bogen. Die passenden Bogen wurden mittels einer transparenten Schablone auf den Modellen ausgewählt. Die Studie von MCNAMARA et al. (2010) führt aus, dass Bogenformschablonen von Behandler zu Behandler sehr unterschiedlich angewendet werden. Um eine homogene Auswahl zu gewährleisten, wurde diese von nur einem, mit der Lingualtechnik versierten, Behandler durchgeführt. Ziel war es die natürliche Zahnbogenform und den ursprünglichen Intercaninen-Abstand zu erhalten.

Zur Diagnostik wurden Gipsmodelle aus Hartgips Typ 3 verwendet. Verzogene Algi-

natabformungen oder minderwertige Gipsqualität wurden durch exakte Einhaltung der Herstellerempfehlungen ausgeschlossen.

5.3 Modellauswertung

5.3.1 Streckenmessungen

Der Activity 102 Scanner von smart optics zeichnet sich durch eine Genauigkeit von +/- 20µm aus. Die Scanzeit für einen ganzen Kiefer liegt bei unter 3 Minuten. In der Scanzeit von 3 Minuten ist eine mögliche Fehlerquelle zu sehen. Es kann in dieser Zeit zu „Verwacklern“ kommen.

Da der höchste Punkt der Höckerspitzen und der Mittelpunkt der Schneidekanten selbst gewählt wurde, ist dort eine mögliche Fehlerquelle zu sehen. Diese ließe sich eliminieren, würde das Programm dahingehend weiter entwickelt, dass die höchsten Punkte bzw. Mittelpunkte (z. Bsp. in einem markierten Bereich) selbstständig gefunden würden. Unter sich gehende Stellen wurden nicht dargestellt. Dies war für die vorliegende Auswertung nicht relevant, da die gewählten Messpunkte sich nie an unter sich gehenden Stellen befanden.

Der Vorteil des 3D-Viewer 1.54 von 3D-Shape lag darin, dass er eine hohe Visualisierungsgeschwindigkeit aufwies und er eine große Vielfalt an dreidimensionalen Darstellungen bot. Es bestand die Möglichkeit:

- zwischen Punkt-, Linien- oder Flächendarstellungen zu wählen
- auch farbliche Darstellungen waren möglich
- die 3D Modelle ließen sich in alle Raumrichtungen rotieren und
- Datenpunktabstände waren zu berechnen.

Das Programm war im Internet frei zugänglich und ohne weitere Kosten zu verwenden. Nach einer kurzen Zeit des Orientierens war das Programm einfach und unkompliziert anwendbar.

5.3.1.1 Methodische Messungen der Zahnbogenlänge

Die größte Bedeutung bei dieser Untersuchung liegt nicht auf den absoluten Werten zu einem bestimmten Zeitpunkt, sondern auf der Veränderung während des Behandlungszeitraumes.

Es fehlt bisher vergleichende Literatur. Die Messergebnisse sind somit als grundlegend zu betrachten. Untersuchungen wurden für die labiale Bogenform durchgeführt, wobei Analysesysteme entwickelt wurden (Mutinelli et al., 2004; Mutinelli et al., 2000; Slaj et al., 2011), jedoch nur eine Studie für lingual (Lombardo et al., 2010).

Ein signifikanter Unterschied wurde bei sieben von vierundzwanzig Messstrecken (Zahn 11-12, Zahn 12-13, Zahn 15-16, Zahn 21-22, Zahn 26-27, Zahn 32-33, Zahn 41-42) festgestellt.

Im Oberkiefer verkleinerten sich neun von zwölf und im Unterkiefer elf von zwölf Messstrecken.

Dies gibt einen Hinweis auf die Therapieempfehlungen. Sollen Vergrößerungen des Zahnbogens erreicht werden, ist über eine Alternative zur Lingualtechnik nachzudenken.

In Abbildung 85 und 86 sind Veränderungen der Messstrecken im Oberkiefer und Unterkiefer zusammengefasst.

- T1_1: Oberkiefer 1. Quadrant zum Zeitpunkt T1
- T1_2: Oberkiefer 2. Quadrant zum Zeitpunkt T1
- T2_1: Oberkiefer 1. Quadrant zum Zeitpunkt T2
- T2_2: Oberkiefer 2. Quadrant zum Zeitpunkt T2
- T1_3: Unterkiefer 3. Quadrant zum Zeitpunkt T1
- T1_4: Unterkiefer 4. Quadrant zum Zeitpunkt T1
- T2_3: Unterkiefer 3. Quadrant zum Zeitpunkt T2
- T2_4: Unterkiefer 4. Quadrant zum Zeitpunkt T2

Diskussion

Es wird ersichtlich, wie gering die Veränderungen sind.

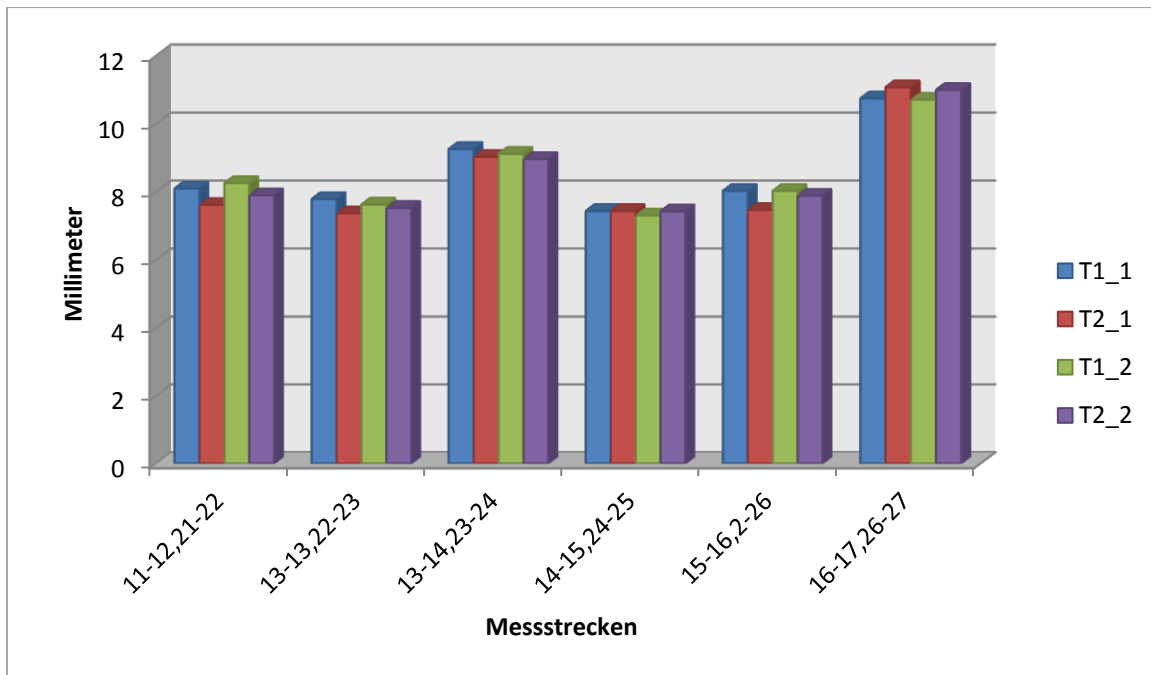


Abbildung 85 Messstrecken des Oberkiefers zu T1 und T2

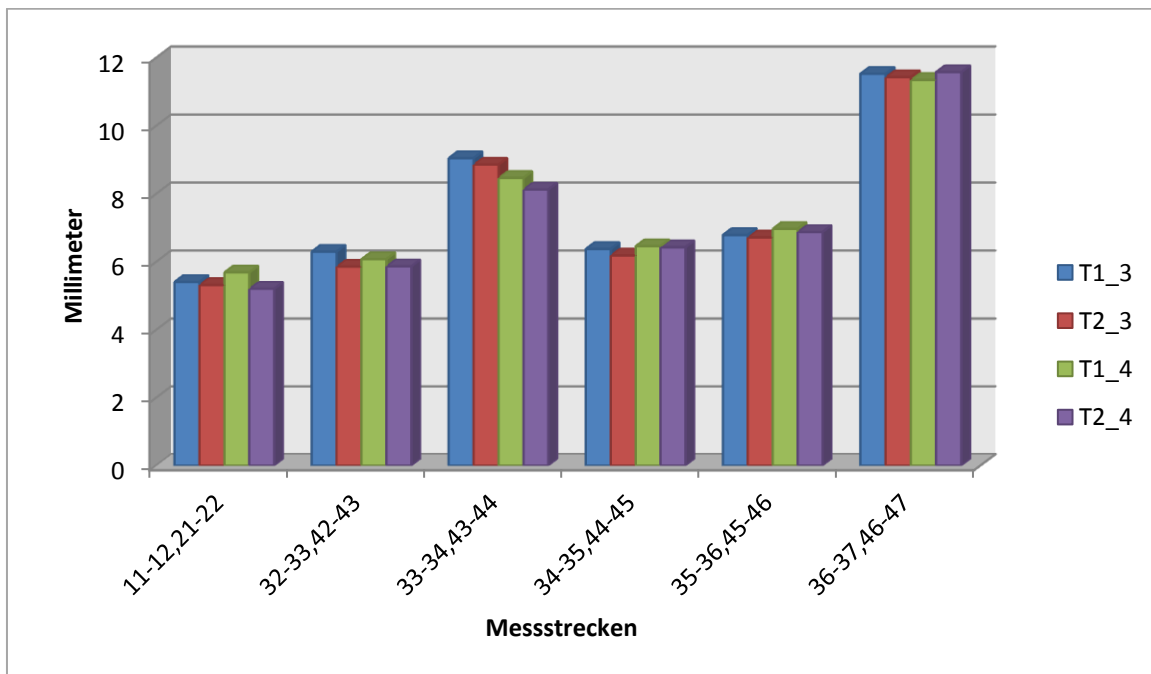


Abbildung 86 Messstrecken des Unterkiefers zu T1 und T2

5.3.1.2 Methodische Messungen der Zahnbogenbreite

Nach der Behandlung mit einer lingualen Multibracketapparatur kann festgestellt werden, dass es insgesamt zu einer Verkleinerung des Zahnbogens kommt. Davon ist vor allem die Zahnbogenbreite betroffen.

Bei einer kieferorthopädischen Behandlung sind die therapeutischen Behandlungsmöglichkeiten im Unterkiefer eingeschränkter als im Oberkiefer. Daher definiert die Breite des Unterkiefers die Breite des Oberkiefers. Der Inter canine-Abstand ist eine essenzielle Komponente für ein stabiles Behandlungsergebnis. In dieser Studie verkleinert sich der Inter canine-Abstand im Unterkiefer um 0,61mm (nicht signifikant). Diese Werte sind deutlich kleiner, als die in der Literatur empfohlenen (Hofmann and Zachrisson, 2010). Die Verkleinerung des Zahnbogens bei Behandlung mit einer lingualen Multibracketapparatur wird von MOLES (Ludwig et al., 2012b) bestätigt.

Bei fünf von vierzehn Messstrecken (Zahn 11-21, Zahn 14-24, Zahn 15-25, Zahn 36-46, Zahn 37-47) kam es zu signifikanten Veränderungen.

Das lässt den Schluss zu, dass die signifikanten Unterschiede natürlichen Ursprungs sind. Eine Vermutung, die nur mit weiteren Untersuchungen zu beantworten ist. Dies ist aber nicht Gegenstand der vorliegenden Studie.

In Abbildung 87 und 88 sind die Ergebnisse für die Messstrecken der Zahnbogenbreite zusammengefasst.

- T1: Messstrecke zum Zeitpunkt T1
- T2: Messstrecke zum Zeitpunkt T2

Diskussion

Es wird ersichtlich, wie gering die Veränderungen sind.

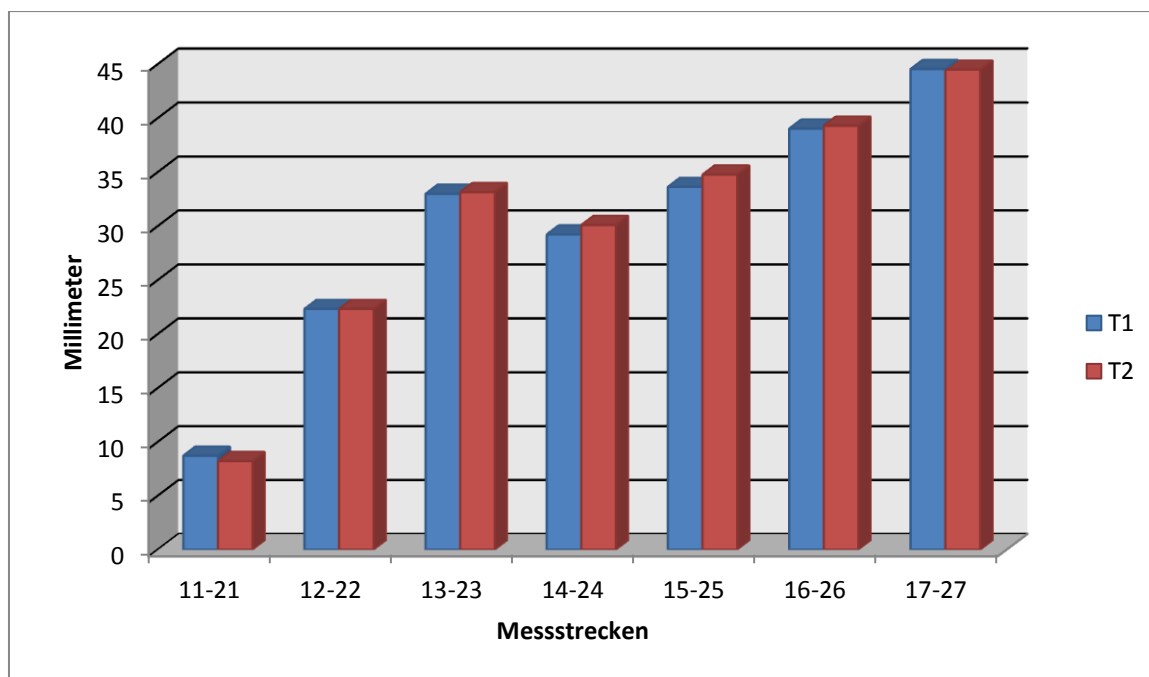


Abbildung 87 Messstrecken des Oberkiefers zu T1 und T2

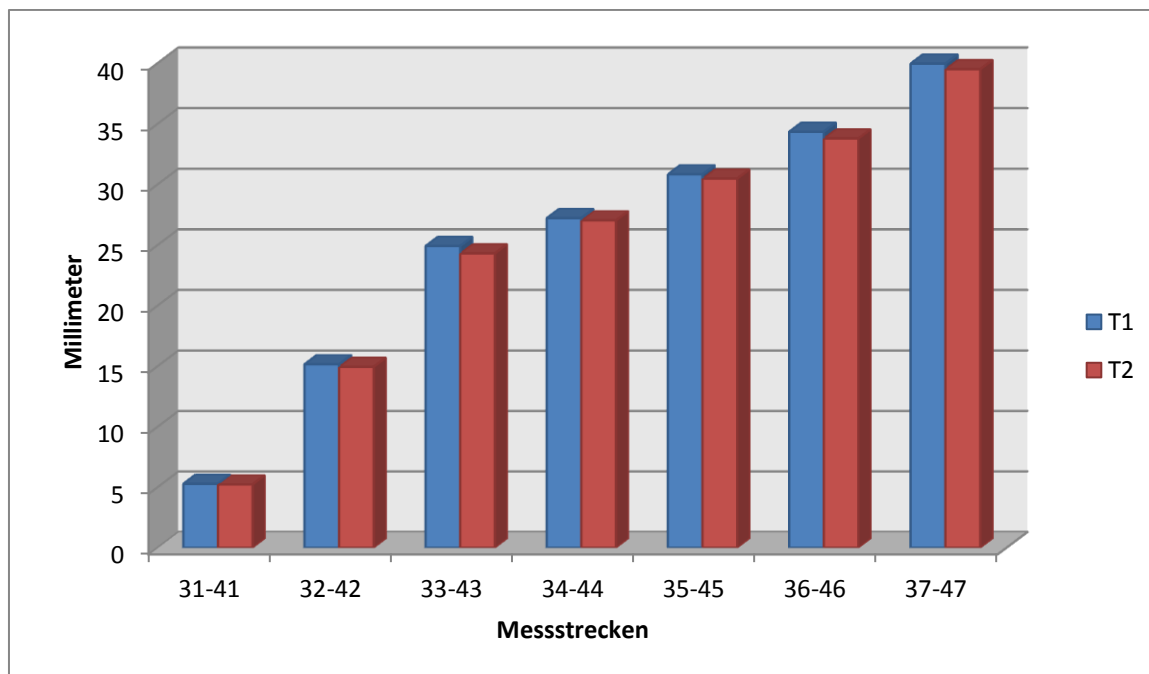


Abbildung 88 Messstrecken des Unterkiefers zu T1 und T2

5.4 Bogenform

Die Multibracketapparatur ermöglicht alle Zahnbewegungen, was zu ihrem vielfältigen Einsatz führt. Dabei darf die natürliche Zahnbogenform nicht außer Acht gelassen werden.

Damit das Behandlungsergebnis stabil bleibt, hat das Gleichgewicht zwischen den Weichgeweben, der Zungen-, Lippen- und Wangendruck, bestand (Proffit, 1978; Weinstein et al., 1963). WEINSTEIN et al. schlussfolgerten in ihrer Studie, dass das Weichgewebe den gleichen Einfluss auf Zahnbewegungen haben kann, wie eine kieferorthopädische Behandlung. Darüber hinaus hat jeder Zahn aber mehr als eine stabile Position. Der größte Faktor zur Findung des Gleichgewichts, so PROFFIT, kommt dem Lippen- und Wangendruck zu. Darüber hinaus spielen das Parodont und der Zahndurchbruch eine Rolle.

Der Zahnbogen ist ständigen Veränderungen unterworfen. In einer Langzeitstudie von BISHARA et al. (1997) wurden bei Patienten über einen Zeitraum von 45 Jahre Veränderungen der Intercaninen- und Intermolaren-Distanz beobachtet. Es gab zwei Gruppen in dieser Studie. Die 1. Gruppe setzte sich aus sechs Wochen alten, ein- und zweijährigen (vor vollständigem Zahndurchbruch) Kindern zusammen. Die 2. Gruppe umfasste die Altersgruppen 3, 5, 8, 13, 26 und 45 Jahre.

Interessant war die Beobachtung, dass die Verbreiterung der Inter canine-Distanz in den ersten beiden Lebensjahren so groß war, wie die Veränderungen zwischen dem 3. und 45. Lebensjahr; im Höchstfall war sie 1 mm kleiner. Zwischen 3 und 13 Jahren kam es zur größten Verbreiterungen, sowohl im Unter- als auch im Oberkiefer. Nach dem Durchbruch der 2. Dentition kam es zu einer Verkleinerung der Zahnbogenweite - mehr im Bereich des Inter caninen-Abstandes als im intermolaren. Als Behandler muss berücksichtigt werden, dass die Inter canine-Distanz mit Erreichen des 8. Lebensjahres vollständig ausgebildet ist und es zu Verkleinerungen der Zahnbogenweite kommt. Dies muss Beachtung finden wenn eine Erweiterung des Zahnbogens geplant wird.

Die Verschmälerung der Intercaninen-Distanz wurde von CARTER und MCNAMARA (1998) bestätigt. Für kieferorthopädisch behandelte Patienten betrug die Verkleinerung im Unterkiefer 1,1mm, für unbehandelte 0,6mm (weiblich) oder 0,9mm (männlich). Kieferorthopädische Veränderungen der Intercaninen-Distanz von 0,5mm zeigen über einen Zeitraum von 30 Jahre keine klinische Relevanz.

In der hier durchgeführten Studie kam es mit der lingualen Multibracketapparatur zu einer Verbreiterung im Oberkiefer von 0,1579mm und zu einer Verschmälerung im Unterkiefer von 0,6154mm. Die Veränderung im Oberkiefer ist klinisch damit zu vernachlässigen und im Unterkiefer liegt lediglich eine Abweichung von 0,1154mm vor. Die Zahnbogenform vor der Behandlung sollte daher als Orientierung zur weiteren Behandlungsplanung dienen.

BEGOLE et al. (1998) untersuchten die Stabilität nach einer transversalen Erweiterung. Im Bereich der Molaren blieb die Expansion relativ stabil, während die Expansion der Eckzähne sich Werten vor der Behandlung annäherte. Im Oberkiefer war die Expansion stabiler als im Unterkiefer. Zusammenfassend erscheint es nicht sinnvoll, den Zahnbogen stark zu erweitern.

In einer Langzeitstudie von WARD et al. (2006), über einen Zeitraum von 20 Jahren, wurde beschrieben, dass kieferorthopädisch behandelte Patienten eine Vergrößerung der Intercaninen-Distanz im Oberkiefer und eine Verkleinerung der Intercaninen-Distanz im Unterkiefer aufwiesen.

Vor allem LITTLE zeigte in seinen Studien, dass es zu einem Frontzahnrezidiv mit Engstand über das klinisch akzeptable Maß hinaus kommen kann (Little et al., 1990). 10 bis 20 Jahre nach Ende der Retentionsphase war kaum eine Zunahme der Engstände zu beobachten (Little et al., 1988).

Abbildung 89 zeigt eine Überlagerung von zwei Modellen aus der vorliegenden Studie. Das graue Modell stellt den Zustand vor Behandlungsbeginn dar, das gelbe danach. Es ist zu sehen, wie wenig sich die Modelle im Bereich der Eckzähne verändern.

Diskussion

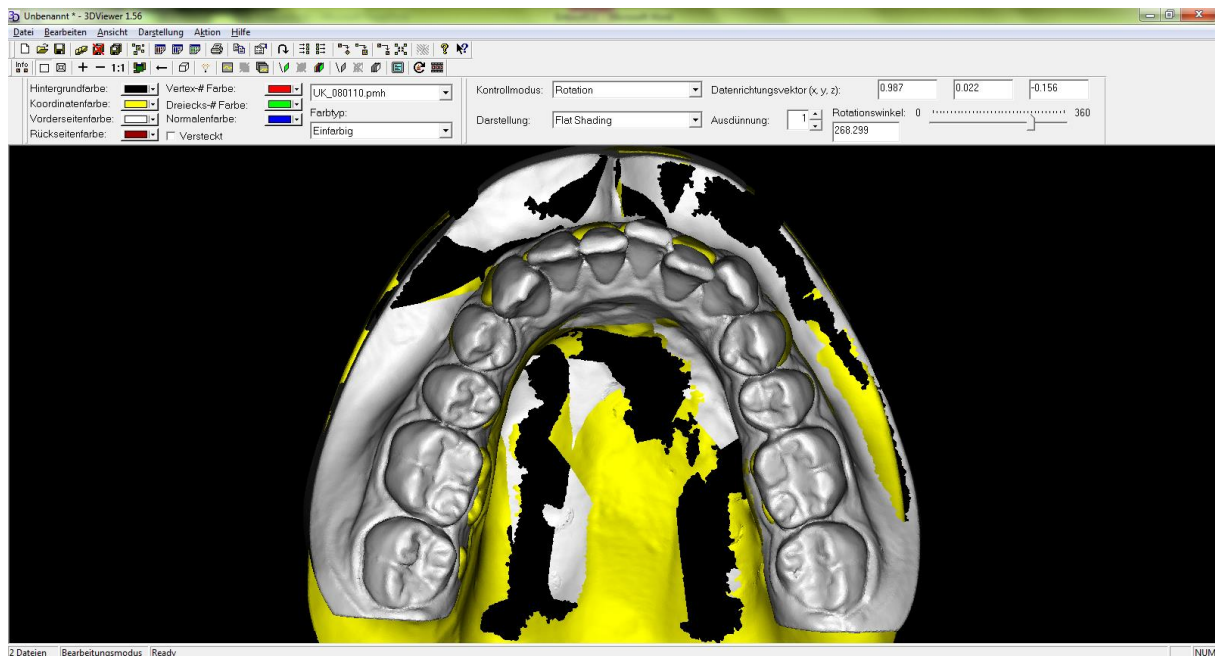


Abbildung 89 Überlagerung von 2 Modellen, QCad

Aus diesen Untersuchungen lässt sich schlussfolgern, dass auf starke Verbreiterungen bzw. Vergrößerungen des Zahnbogens verzichtet werden sollte. Als Alternative ist eine Gaumennahterweiterung (Lagravere et al., 2005a; Lagravere et al., 2005b) zu nennen. Diese hat eine vornehmlich skelettale Wirkungsweise. Eine weitere Möglichkeit stellt das Extrahieren von Prämolaren (Janson et al., 2006) dar, oder das Strippen von Zähnen (Grippaudo et al., 2010).

In einer Studie von GRAUER et al. (2012) ist auf die CAD/CAM Herstellung individualisierter kieferorthopädischer Brackets und Bogen eingegangen worden. Dabei ist die Individualisierung der Bracketslots, die Bracketbasis, der Bogen und die Kombination von Bracket und Bogen von Bedeutung. In der Arbeit werden vier verschiedene Systeme vorgestellt: DIGITALLY GENERATED INDIRECT BONDING SYSTEMS, INSIGNIA, SURESMILE und INCOGNITO. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass diese Systeme eine hohe Effizienz und Genauigkeit bei der Behandlung bieten. Wichtig ist aber auch bei diesen Systemen eine akkurate Behandlungsplanung und Indikationsstellung.

In ihrer Studie kamen LOMBARDO et al. (2010) auf drei Bogen für den Unter- und Oberkiefer (klein, mittel und groß). Das Ziel waren Bogen ohne Off-Set-Biegungen für

die Straight-wire-Technik und somit Fujitas „mush-room“ zu ersetzen. Zur Berechnung seiner Bogen verwendete er die polynomische Funktion neunten Grades. Bei den konstruierten Bogen in dieser Studie zeigt sich deutlich die Fujita „mush-room-form“. Durch die einheitlich dünne Bracketbasis ergeben sich diese Biegungen (Abb. 90, Abb. 91).

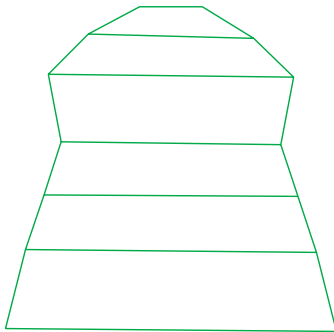


Abbildung 90 Standardbogen Oberkiefer für die 2D Lingualtechnik

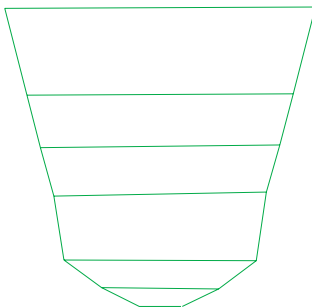


Abbildung 91 Standardbogen Unterkiefer für die 2D Lingualtechnik

5.5 Winkel

Winkeländerungen sind im Bereich der Off-Set-Biegungen am geringsten, mit Ausnahme des 3. Quadranten.

Winkel sind bisher noch nicht untersucht worden. Vergleichende Literaturwerte stehen daher nicht zur Verfügung. Die Verwendung von Bogen, lässt den Nutzen der Winkelmessungen als fraglich erscheinen.

5.6 Fehleranalyse

Der Methodenfehler sollte <1 betragen – dies ist hier in allen Messungen ganz deutlich gegeben.

Die Reliabilität der angewandten Methode zur Vermessung der Modelle konnte damit bewiesen werden.

5.7 Schlussfolgerung

Die ermittelten Messergebnisse und die danach entwickelte Methode zur Bogenkonstruktion lassen folgende Aussagen zu:

1. Der Vergleich der lingualen Bogenform von untherapierten und therapierten Patienten zeigt in Bezug auf die Messstrecken minimale Unterschiede zwischen den Behandlungszeitpunkten.
2. Die Veränderung der Intercaninen-Distanz lag im klinisch akzeptablen Bereich, die natürliche Zahnbogenform blieb unverändert.
3. Es wurde je eine standardisierte Bogenform für die 2D Lingualtechnik für den Ober- und Unterkiefer ermittelt (sh. S. 55, Kapitel 4.3).
 - a. Es ist gelungen eine Methode zu entwickeln, die die durchschnittliche linguale Bogenform millimetergenau darstellt. Das dabei verwendete Dateiformat ist kompatibel mit allen gängigen CAD-Systemen und daher ist es möglich, die konstruierten Bogen mit Hilfe eines Biegeroboters biegen zu lassen.
 - b. Eine Individualisierung der standardisierten Bogen durch den Behandler an einem Gipsmodell oder im Patientenmund ist zu empfehlen. Ein aufwändiges und kostenintensives indirektes Laborverfahren ist nicht notwendig.

6 Literaturverzeichnis

1. Alexander CM, Alexander RG, Gorman JC, Hilgers JJ, Kurz C, Scholz RP, et al. (1982) Lingual orthodontics. A status report. *J Clin Orthod* 16:255-262
2. Alexander CM, Alexander RG, Sinclair PM (1983) Lingual orthodontics: a status report. Part 6. Patient and practice management. *J Clin Orthod* 17:240-246
3. Bayome M, Sameshima GT, Kim Y, Nojima K, Baek SH, Kook YA (2011) Comparison of arch forms between Egyptian and North American white populations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 139:e245-252
4. Bechtold TE, Göz GR (2010) Einfluss standardisierter Bogenformen auf die transversale Zahnbogendimension. *Kieferorthopädie* 24:24-35
5. BeGole EA, Fox DL, Sadowsky C (1998) Analysis of change in arch form with premolar expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 113:307-315
6. Bishara SE, Jakobsen JR, Treder J, Nowak A (1997) Arch width changes from 6 weeks to 45 years of age. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 111:401-409
7. Braun S, Hnat WP, Leschinsky R, Legan HL (1999) An evaluation of the shape of some popular nickel titanium alloy preformed arch wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 116:1-12
8. Burris BG, Harris EF (2000) Maxillary arch size and shape in American blacks and whites. *The Angle orthodontist* 70:297-302
9. Cacciafesta V, Sfondrini MF (2006) One-appointment correction of a scissor bite with 2D lingual brackets and fiber-reinforced composites. *J Clin Orthod* 40:409-411
10. Carter GA, McNamara JA, Jr. (1998) Longitudinal dental arch changes in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 114:88-99
11. Creekmore T (1989) Lingual orthodontics--its renaissance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 96:120-137
12. Dahlberg G (1940) Statistical methods for medical and biological students. *Br Med J* 2:358.353
13. de la Cruz A, Sampson P, Little RM, Artun J, Shapiro PA (1995) Long-term changes in arch form after orthodontic treatment and retention. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 107:518-530
14. Diedrich P (1984) [Lingual bracket-fixation--problems and initial

- experiences]. *Fortschr Kieferorthop* 45:65-76
15. Felton JM, Sinclair PM, Jones DL, Alexander RG (1987) A computerized analysis of the shape and stability of mandibular arch form. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 92:478-483
 16. Franchi L, Baccetti T, Camporesi M, Lupoli M (2006) Maxillary arch changes during leveling and aligning with fixed appliances and low-friction ligatures. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 130:88-91
 17. Fritz U, Diedrich P, Wiechmann D (2002) Lingual technique--patients' characteristics, motivation and acceptance. Interpretation of a retrospective survey. *Fortschr Kieferorthop* 63:227-233
 18. Fujita K (1982) Multilingual-bracket and mushroom arch wire technique. A clinical report. *Am J Orthod* 82:120-140
 19. Fujita K (1979) New orthodontic treatment with lingual bracket mushroom arch wire appliance. *Am J Orthod* 76:657-675
 20. Gafni Y, Tzur-Gadassi L, Nojima K, McLaughlin RP, Abed Y, Redlich M (2011) Comparison of arch forms between Israeli and North American white populations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 139:339-344
 21. Gerkhardt K (2000) Lingualtechnik. In: Diedrich P (ed). *Kieferorthopädie II*. Urban & Fischer, München 234-244
 22. Geron S, Romano R, Brosh T (2004) Vertical forces in labial and lingual orthodontics applied on maxillary incisors--a theoretical approach. *Angle Orthod* 74:195-201
 23. Gorman JC (1988) Treatment of adults with lingual orthodontic appliances. *Dent Clin North Am* 32:589-620
 24. Göz G (2000) Zahnbewegung. In: Diedrich P (ed) *Kieferorthopädie II*. Urban & Fischer, München 28-45
 25. Grauer D, Wiechmann D, Heymann GC, Swift EJ Jr (2012) Computer-aided design/computer-aided manufacturing technology in customized orthodontic appliances. *J Esthet Restor Dent* 24:3-9
 26. Grippaudo C, Cancellieri D, Grecolini ME, Deli R (2010) Comparison between different interdental stripping methods and evaluation of abrasive strips: SEM analysis. *Prog Orthod* 11:127-137
 27. Hofmann T, Zachrisson B (2010) Selbstligierende Brackets. *Inf Orthod Kieferorthop* 42:213-215
 28. Hong RK, Sohn HW (1999) Update on the Fujita lingual bracket. *J Clin*

Orthod 33:136-142

29. Janson G, Maria FR, Barros SE, Freitas MR, Henriques JF (2006) Orthodontic treatment time in 2- and 4-premolar-extraction protocols. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 129:666-671
30. Jost-Brinkmann PG, Tanne K, Sakuda M, Miethke RR (1993) [A FEM study for the biomechanical comparison of labial and palatal force application on the upper incisors. Finite element method]. *Fortschr Kieferorthop* 54:76-82
31. Kelly VMJ (1982) Dr. Vincent Kelly on lingual orthodontics. *Clin Orthod* 16:461-476
32. Kook YA, Nojima K, Moon HB, McLaughlin RP, Sinclair PM (2004) Comparison of arch forms between Korean and North American white populations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 126:680-686
33. Lagravere MO, Major PW, Flores-Mir C (2005a) Long-term dental arch changes after rapid maxillary expansion treatment: a systematic review. *Angle Orthod* 75:155-161
34. Lagravere MO, Major PW, Flores-Mir C (2005b) Long-term skeletal changes with rapid maxillary expansion: a systematic review. *Angle Orthod* 75:1046-1052
35. Ling PH (2005) Lingual orthodontics: history, misconceptions and clarification. *J Can Dent Assoc* 71:99-102
36. Little RM (1990) Stability and relapse of dental arch alignment. *Br J Orthod* 17:235-241
37. Little RM, Riedel RA, Artun J (1988) An evaluation of changes in mandibular anterior alignment from 10 to 20 years postretention. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 93:423-428
38. Little RM, Riedel RA, Stein A (1990) Mandibular arch length increase during the mixed dentition: postretention evaluation of stability and relapse. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 97:393-404
39. Lombardo L, Saba L, Scuzzo G, Takemoto K, Oteo L, Palma JC, et al. (2010) A new concept of anatomic lingual arch form. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 138:260 e261-260 e213; discussion 260-261
40. Ludwig B, Alexander JC, Cacciafesta V, Fillion D, Gilbert A, Moles RC, et al. (2012a) JCO roundtable. Lingual orthodontics. Part 1. *J Clin Orthod* 46:203-217
41. Ludwig B, Alexander JC, Cacciafesta V, Fillion D, Gilbert A, Moles RC, et al. (2012b) JCO roundtable. Lingual orthodontics. Part 2. *J Clin Orthod*

46:275-292

42. Ludwig B, Glasl B (2009) Selbstligierende Brackets. 1. Aufl. Georg Thieme, Stuttgart
43. Ludwig B, Glasl B, Lisson JA, Kinzinger GS (2010) Clinical tips for improving 2D lingual treatment. *J Clin Orthod* 44:360-362
44. Macchi A, Tagliabue A, Levrini L, Trezzi G (2002) Philippe self-ligating lingual brackets. *J Clin Orthod* 36:42-45
45. McNamara C, Drage KJ, Sandy JR, Ireland AJ (2010) An evaluation of clinicians' choices when selecting archwires. *Eur J Orthod* 32:54-59
46. Miyawaki S, Yasuhara M, Koh Y (1999) Discomfort caused by bonded lingual orthodontic appliances in adult patients as examined by retrospective questionnaire. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 115:83-88
47. Mujagic M, Fauquet C, Galletti C, Palot C, Wiechmann D, Mah J (2005) Digital design and manufacturing of the Lingualcare bracket system. *J Clin Orthod* 39:375-382; quiz 370
48. Mutinelli S, Cozzani M, Manfredi M, Siciliani G (2004) Dental arch analysis system. *Prog Orthod* 5:200-211
49. Mutinelli S, Manfredi M, Cozzani M (2000) A mathematic-geometric model to calculate variation in mandibular arch form. *Eur J Orthod* 22:113-125
50. Nojima K, McLaughlin RP, Isshiki Y, Sinclair PM (2001) A comparative study of Caucasian and Japanese mandibular clinical arch forms. *Angle Orthod* 71:195-200
51. Paige SF (1982) A lingual light-wire technique. *J Clin Orthod* 16:533-544
52. Proffit WR (1978) Equilibrium theory revisited: factors influencing position of the teeth. *Angle Orthod* 48:175-186
53. Schopf (2008) Curriculum Kieferorthopädie. Band II, 4. Aufl. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin
54. Slaj M, Spalj S, Jelusic D, Slaj M (2011) Discriminant factor analysis of dental arch dimensions with 3-dimensional virtual models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 140:680-687
55. Smith JR, Gorman JC, Kurz C, Dunn RM (1986) [The key to success in lingual therapy]. *Inf Orthod Kieferorthop* 18:377-400
56. Stamm T, Hohoff A, Ehmer U (2005) A subjective comparison of two

- lingual bracket systems. Eur J Orthod 27:420-426
57. Takemoto K, Scuzzo G (2001) The straight-wire concept in lingual orthodontics. J Clin Orthod 35:46-52
 58. Ward DE, Workman J, Brown R, Richmond S (2006) Changes in arch width. A 20-year longitudinal study of orthodontic treatment. Angle Orthod 76:6-13
 59. Weinstein S, Haack D, Morria L (1963) On an equilibrium theory of tooth position. Angle Orthod 33:1-26
 60. Wiechmann D (1999a) Lingual orthodontics (part 1): laboratory procedure. J Orofac Orthop 60:371-379
 61. Wiechmann D (1999b) Lingual orthodontics (part 2): archwire fabrication. J Orofac Orthop 60:416-426
 62. Wiechmann D (2000) Lingual orthodontics (Part 3): Intraoral sandblasting and indirect bonding. J Orofac Orthop 61:280-291
 63. Yen PK (1986) A lingual Begg lightwire technique. J Clin Orthod 20:786-791

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Lingualbogen, Forestadent	10
Abbildung 2 Set-up-Modell	12
Abbildung 3 Set-up-Modell	12
Abbildung 4 Set-up-Modell	12
Abbildung 5 Set-up-Modell	12
Abbildung 6 Set-up-Modell	12
Abbildung 7 2D Lingualbracket, Forestadent	16
Abbildung 8 Unterkiefer vor adhäsiver Befestigung	16
Abbildung 9 Unterkiefer nach adhäsiver Befestigung	17
Abbildung 10 Lingualbogen, Forestadent	17
Abbildung 11 Activity Scanner 102	18
Abbildung 12 Activity Scanner 102	18
Abbildung 13 Importieren der Modelle in den 3D-Viewer	19
Abbildung 14 Messstrecken des Oberkiefers für die methodischen Messungen der Zahnbogenlänge.....	21
Abbildung 15 Messstrecken des Unterkiefers für die methodischen Messungen der Zahnbogenlänge.....	21
Abbildung 16 Messstrecken des Oberkiefers für die methodischen Messungen der Zahnbogenbreite	22
Abbildung 17 Messstrecken des Unterkiefers für die methodischen Messungen der Zahnbogenbreite	22
Abbildung 18 Layerlisten, QCad	24
Abbildung 19 Linien (Hauptmenü), QCad	25
Abbildung 20 Linien konstruieren, QCad	25
Abbildung 21 Koordinaten eingeben, QCad	25
Abbildung 22 Eingabe der Koordinaten, QCad	25
Abbildung 23 Messstrecke Zahn 11-21, QCad	25
Abbildung 24 Rechtwinklige Linie erstellen, QCad	26
Abbildung 25 Mittelpunkt fangen, QCad	26
Abbildung 26 Senkrechte zur Messstrecke Zahn 11-21, QCad	26
Abbildung 27 Kreise konstruieren, QCad.....	27

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 28 Kreise konstruieren, QCad.....	27
Abbildung 29 Endpunkte fangen, QCad	27
Abbildung 30 Radius als Messstrecke, QCad.....	27
Abbildung 31 Kreise entsprechen den Strecken Zahn 11-12 bzw. Zahn 21-22, QCad.....	27
Abbildung 32 Verschieben von Linien, QCad	28
Abbildung 33 Verschieben von Linien, QCad	28
Abbildung 34 Verschieben von Linien, QCad	28
Abbildung 35 Verschieben von Linien, QCad	28
Abbildung 36 Anzahl der Kopien, QCad	28
Abbildung 37 Messstrecke von Zahn 12-22 am Endpunkt der Senkrechten, QCad..	29
Abbildung 38 Schnittpunkte der Waagerechten mit den Kreisen, QCad	30
Abbildung 39 Schnittpunkte der Waagerechten mit den Kreisen, QCad	30
Abbildung 40 Schnittpunkte der Waagerechten mit den Kreisen, QCad	30
Abbildung 41 Konstruieren der Messstrecken Zahn 11-12 bzw. Zahn 21-22, QCad.	31
Abbildung 42 Konstruieren der Messstrecken Zahn 11-12 bzw. Zahn 21-22, QCad..	31
Abbildung 43 Konstruieren der Messstrecken Zahn 11-12 bzw. Zahn 21-22, QCad.	31
Abbildung 44 Konstruieren der Messstrecke Zahn 12-22, QCad	32
Abbildung 45 Konstruieren der Messstrecke Zahn 12-22, QCad	32
Abbildung 46 Konstruieren der Messstrecke Zahn 12-22, QCad	32
Abbildung 47 Löschen der Hilfslinie, QCad.....	33
Abbildung 48 Löschen der Hilfslinie, QCad	33
Abbildung 49 Löschen der Hilfslinie, QCad	33
Abbildung 50 Löschen der Hilfslinie, QCad	34
Abbildung 51 Bogenkonstruktion, QCad.....	34
Abbildung 52 Fertige Bogenkonstruktion, QCad.....	35
Abbildung 53 Standardabweichung, QCad.....	36
Abbildung 54 Standardabweichung, QCad.....	36
Abbildung 55 Standardabweichung, QCad.....	36
Abbildung 56 Standardabweichung, QCad.....	36
Abbildung 57 Standardabweichung, QCad.....	36
Abbildung 58 Standardabweichung, QCad.....	36
Abbildung 59 Standardabweichung, Winkel 180°, Anzahl Kopien 0, QCad	37

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 60 Standardabweichung, QCad.....	37
Abbildung 61 Winkel messen, QCad.....	38
Abbildung 62 Winkel messen, QCad.....	38
Abbildung 63 Winkel messen, QCad.....	38
Abbildung 64 Winkel messen, QCad.....	38
Abbildung 65 Altersverteilung in Jahre	40
Abbildung 66 Behandlungsdauer in Monate	41
Abbildung 67 Bogenform Mittelwert Oberkiefer zum Zeitpunkt T1	50
Abbildung 68 Bogenform Minimum Oberkiefer zum Zeitpunkt T1	50
Abbildung 69 Bogenform Maximum Oberkiefer zum Zeitpunkt T1	51
Abbildung 70 Bogenform Mittelwert Oberkiefer zum Zeitpunkt T2	51
Abbildung 71 Bogenform Minimum Oberkiefer zum Zeitpunkt T2.....	51
Abbildung 72 Bogenform Maximum Oberkiefer zum Zeitpunkt T2.....	52
Abbildung 73 Bogenform Mittelwert Unterkiefer zum Zeitpunkt T1	52
Abbildung 74 Bogenform Minimum Unterkiefer zum Zeitpunkt T1	52
Abbildung 75 Bogenform Maximum Unterkiefer zum Zeitpunkt T1	53
Abbildung 76 Bogenform Mittelwert Unterkiefer zum Zeitpunkt T2	53
Abbildung 77 Bogenform Minimum Unterkiefer zum Zeitpunkt T2.....	53
Abbildung 78 Bogenform Maximum Unterkiefer zum Zeitpunkt T2	54
Abbildung 79 Standardbogen Oberkiefer für die 2D Lingualtechnik.....	55
Abbildung 80 Standardbogen Unterkiefer für die 2D Lingualtechnik	55
Abbildung 81 Bogenform Oberkiefer zum Zeitpunkt T1 mit Standardabweichung	56
Abbildung 82 Bogenform Oberkiefer zum Zeitpunkt T2 mit Standardabweichung	56
Abbildung 83 Bogenform Unterkiefer zum Zeitpunkt T1 mit Standardabweichung....	56
Abbildung 84 Bogenform Unterkiefer zum Zeitpunkt T2 mit Standardabweichung....	57
Abbildung 85 Messstrecken des Oberkiefers zu T1 und T2.....	63
Abbildung 86 Messstrecken des Unterkiefers zu T1 und T2.....	63
Abbildung 87 Messstrecken des Oberkiefers zu T1 und T2.....	65
Abbildung 88 Messstrecken des Unterkiefers zu T1 und T2.....	65
Abbildung 89 Überlagerung von 2 Modellen, QCad.....	68
Abbildung 90 Standardbogen Oberkiefer für die 2D Lingualtechnik.....	69
Abbildung 91 Standardbogen Unterkiefer für die 2D Lingualtechnik	69

a) Ludwig, B.

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Bracketabstand zur Inzisalkante bzw. zur Höckerspitze.....	16
Tabelle 2 Altersverteilung in Jahre	41
Tabelle 3 Behandlungsdauer in Monate	42
Tabelle 4 Anzahl, Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimums und Maximums der Messstrecken des Oberkiefers zu den Zeitpunkten T1 und T2 in mm (Zahnbogenlänge)	43
Tabelle 5 Wilcoxon-Test.....	44
Tabelle 6 Wilcoxon-Test.....	44
Tabelle 7 Anzahl, Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimums und Maximums der Messstrecken des Unterkiefers zu den Zeitpunkten T1 und T2 in mm (Zahnbogenlänge)	45
Tabelle 8 Wilcoxon-Test.....	46
Tabelle 9 Wilcoxon-Test.....	46
Tabelle 10 Anzahl, Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimums und Maximums der Messstrecken des Oberkiefers zu den Zeitpunkten T1 und T2 in mm (Zahnbogenbreite)	47
Tabelle 11 Wilcoxon-Test.....	48
Tabelle 12 Anzahl, Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimums und Maximums der Messstrecken des Unterkiefers zu den Zeitpunkten T1 und T2 in mm (Zahnbogenbreite)	49
Tabelle 13 Wilcoxon-Test.....	49
Tabelle 14 Standardbogen Oberkiefer.....	55
Tabelle 15 Standardbogen Unterkiefer	55
Tabelle 16 Methodenfehler nach Dahlberg.....	58

Anhang

9 Anhang

9.1 Messstrecken

Patient	OK Messung Zeitpunkt T1 Zahnbogenlänge in mm											
	Zahn 11 - 12	Zahn 12 - 13	Zahn 13 - 14	Zahn 14 - 15	Zahn 15 - 16	Zahn 16 - 17	Zahn 21 - 22	Zahn 22 - 23	Zahn 23 - 24	Zahn 24 - 25	Zahn 25 - 26	Zahn 26 - 27
Patient1	7	7	9			11	7	8	11			11
Patient2	9	9	8	6	9		8	9	9	8	7	
Patient3	10	8	11	7	7	10	11	9	8	8	7	9
Patient4	8	9			8	13	8	9			8	12
Patient5	7	7	9	6	8	9	8	7	8	7	8	10
Patient6	6	7	9	8	7	12	8	7	10	8	7	11
Patient7	9	7	9	7	7	10	9	7	9	7	9	10
Patient8	7	7	11	6	8	11	6	7	10	6	8	10
Patient9	8	8	10	9	8	12	10	7	10	7	8	12
Patient10	7	7	9	7	7	9	8	7	11	6	8	10
Patient11	8	7			9	10	7	6			8	11
Patient12	9	8	10	8	10	12	9	8	10	8	9	12
Patient13	9	9	9	7	7	11	8	8	9	8	8	11
Patient14	7	8	9	8			8	7	9	8	7	
Patient15	9	9	9	8	8	10	10	7	8	8	8	11
Patient16	7	8	9			11	7	7	7	7	9	9
Patient17	8	8	8	9	8	11	8	7	11	7	8	13
Patient18	7	9	10	8	8	10	8	9	10	7	7	11
Patient19	9	8	9	6	8	10	8	6	10	7	7	
Patient20	8	8	9			14	9	8	9			13
Patient21	9	8	9	8	8	10	9	8	9	9	9	8
Patient22	7	8	10	8	8	10	8	8	9	7	8	11
Patient23	9	8			7		10	10				
Patient24	8	8	8	8	10	10	8	7	9	7	9	11
Patient25	8	7	9	6	8	9	8	7	8	7	8	10
Patient26	8	8	10	7	8	11	8	8	9	7	8	11
Patient27	7	8	8	8	8	11	7	9	7	9		
Patient28	8	7	7	6	8	11	8	7	8	7		
Patient29	8	7	6	6	7	10	7	7	8	6	8	10
Patient30	8	7	9	9	7	12	8	7	9	9	7	11
Patient31	9	8	8	9	8	11	8	8	10	7	8	12
Patient32	7	7	10	8	8		8	7	8	7	9	
Patient33	8	8	9	6	9		9	7	9	6	8	
Patient34	10	8	10	9	8	10	9	8	10	7	9	10
Patient35	8	7	10	8	8		8	7	9	7	8	11
Patient36	9	7	11	7	9	12	8	8	10	7	9	11
Patient37	8	8			8	9	8				7	9
Patient38	8	9	13	8	9		9	8			9	10
Patient39	10	8	10	7	8	12	9	9	9	8	8	11

Anhang

UK Messung Zeitpunkt T1 Zahnbogenlänge in mm											
Zahn 31 - 32	Zahn 32 - 33	Zahn 33 - 34	Zahn 34 - 35	Zahn 35 - 36	Zahn 36 - 37	Zahn 41 - 42	Zahn 42 - 43	Zahn 43 - 44	Zahn 44 - 45	Zahn 45 - 46	46 - 47
5	7	7	7	7	11	6	5	7	7	7	11
7	7	9			11	6	7	10	6	8	
6	7			5	11	5	6	7	6	7	11
		10	7	6	11	6	6	10	7	7	11
5	5	9			10	6	5	7	5	6	11
5	6	10	5	8	13	5	6	9	6	7	12
6	5	10	5	6	12	6	7	9	7	6	12
6	7	7	7	6	11	7	5	7	6	6	11
5	6	10	8	6	12	5	5	10	8	6	11
4	7	8	5	8	11	6	4	7	5	8	11
5	6			8	12	4	6			8	12
6	7	10	8	7	12	7	7	10	7	7	13
7	7	8	8	6	12	5	6	9	7	7	11
6	5	10	6			6	6	9			
6	6	9	8	5	12	5	7	9	7	6	11
5	4	9	6	7	11	5	4	8	6	11	11
6	6	9	6	7	12	5	7	8	7	6	12
7	7	9	6	8	11	7	7	9	7	6	9
5	6	9				5	8	7	7	7	12
5	8	8	7	7	13	6	8	6	8	7	12
6	8	8	6	8	11	7	4	8	7	8	12
5	6	11	3	8	11	5	7	11	4		
		9	8	7	11	6	6	9	7		
6	7	10	5	7	12	6	7	9	5	7	11
4	6	9	5	7	10	4	6	9	6	6	10
6	6	9	7	6	11	5	7	7	7	7	10
5	5	9	6	7	12	6	4	9	5		
5	6	8	7	5	13	6	6	7	9		
4	5	9	5			5	6	9	5		
4	6	8	8	6	12	5	6	7	8	5	12
6	6	10	6	8	12	6	5	10	5	8	12
4	6	8	7	7	11	6	5	8	7	6	11
5	7	9	5	7	10	6	7	9	4	8	10
5	7	10	6	6	12	5	7	8	7	6	11
5	7	10	6	8	11	6	5	8	7	8	12
6	7	9	6	7	12	6	7	9	5	8	13
6	6	9	7	7	11	6	6	8	7	7	11
5	7	9	8	6	12	5	7	9	9	6	
6	6	10	7	7	13	8	7	10	6	7	13

Anhang

OK Messung Zeitpunkt T1 Zahnbogenbreite in mm						
Zahn 11 - 21	Zahn 12 - 22	Zahn 13 - 23	Zahn 14 - 24	Zahn 15 - 25	Zahn 16 - 26	Zahn 17 - 27
9	21	32	29		39	42
8	24	31	31	37	42	
11	28	37	30	37	40	46
9	21	32		27	32	42
8	21	32	29	33	35	43
8	19	26	28	36	41	49
9	18	35	34	39	44	47
9	22	35	29	35	39	43
9	24	35	30	37	44	52
9	23	32	25	30	34	40
8	21	29		29	34	45
8	25	38	31	34	40	46
9	24	36	33	39	45	53
8	22	33	29	32		41
12	19	32	29	32	39	45
8	21	32	27		32	41
9	23	32	30	34	38	44
9	22	37	32	39	45	50
9	22	30	29	33	36	
8	23	35	32		39	49
9	26	36	32	38	45	46
8	22	34	29	35	42	45
9	22	30		29		
8	21	33	27	32	38	44
6	20	30	25	30	36	42
9	23	35	30	34	39	44
10	20	33	27	31		43
8	23	26	25	29		39
8	19	29	24	28	35	40
8	23	34	30	35	43	47
9	22	33	29	36	41	45
7	20	33	25	30	36	
10	23	33	31	35	38	
10	26	36	31	35	39	43
8	23	34	30	35	39	
8	23	33	28	34	42	46
10	25			27	36	37
8	22	34		35	36	
10	25	37	34	40	43	47

Anhang

UK Messung Zeitpunkt T1 Zahnbogenbreite in mm						
Zahn 31 - 41	Zahn 32 - 42	Zahn 33 - 43	Zahn 34 - 44	Zahn 35 - 45	Zahn 36 - 46	Zahn 37 - 47
5	16	24	32	31	33	38
5	18	29	33		36	
6	16	27		28	33	40
6		21	25	31	36	40
4	14	23	27		31	36
6	15	25	30	32	36	44
6	17	27	32	35	37	42
4	16	27	27	33	34	39
5	16	25	18	34	37	45
5	12	23	21	24	27	34
5	14	24		25	26	39
5	17	29	33	40	43	43
5	16	26	28	34	38	46
5	16	26	28			34
5	14	21	24	30	32	40
5	14	22	25	28	34	40
5	16	23	27	29	32	40
5	18	28	32	37	41	45
4	12	21	23			38
4	14	26	30	36	37	45
6	17	26	29	33	39	46
6	15	25	28	31		41
6		22	27	27		40
5	13	25	26	29	32	39
5	12	23	23	27	30	38
5	16	27	30	31	34	40
6	15	22	25	28		36
6	16	25	25	30		35
4	12	20	26	27		32
7	16	28	27	32	35	43
5	15	24	26	30	33	40
5	14	24	24	27	31	39
5	15	26	29	31	34	42
7	16	26	29	32	34	39
6	15	26	28	32	34	40
5	15	25	27	30	35	40
6	16	27	25	29	33	39
6	15	26	28	32	35	
5	17	28	30	34	37	42

Anhang

OK Messung Zeitpunkt T2 Zahnbogenlänge in mm											
Zahn 11 - 12	Zahn 12 - 13	Zahn 13 - 14	Zahn 14 - 15	Zahn 15 - 16	Zahn 16 - 17	Zahn 21 - 22	Zahn 22 - 23	Zahn 23 - 24	Zahn 24 - 25	Zahn 25 - 26	Zahn 26 - 27
6	7	6	11	5	11	6	7	9	9	7	10
8	8	10	7	7		8	8	10	10	8	
8	7	8	7	8	11	8	8	7	7	6	10
8	8			8	12	8	8			8	11
6	5	8	6	8	10	7	6	7	7	7	10
7	6	10	7	6	11	8	7	10	8	10	11
8	9	9	7	8	11	7	7	10	7	7	12
7	7	9	6	8	11	7	7	8	7	7	11
8	8	10	9	7	8	9	9	9	9	8	12
7	7	9	7	7	9	8	7	11	6	8	10
7	7			8	10	7	7			8	11
9	8	9	8	10	12	9	9	10	8	9	13
8	8	8	7	7	11	9	9	10	8	8	11
7	8	9	8			8	7	9	8	7	
7	7	9	8	9	12	8	7	10	8	7	12
7	7	10			13	8	7	8	7	7	10
9			8	7	13	8			9	9	12
9	8	11	9	7	12	9	9	11	7	7	11
7	7	9	6	8	11	8	7	8	7	8	
7	7	9			14	7	8	9			13
8	7	10	8	7	12	8	7	9	9	10	9
7	8	10	8	7	12	7	7	9	8	7	11
7	9			7		7	8				
7	7	7	8	8	10	7	7	8	8	8	12
7	6	9	7	7	10	7	7	9	6	8	10
8	7	10	7	8	11	8	7	10	7	8	12
7	7	6	7	8	10	8	7	8	9		
6	7	8	6	7	10	8	7	8	6		
7	7	9	6	7	10	5	5	8	6	7	10
8	7	10	8	7	11	8	9	9	7	8	11
8	8	9	8	8	11	9	8	9	7	9	11
8	6	9	7	7	11	7	7	8	7	9	11
7	8	9	6	7	11	9	8	8	6	7	10
9	8	7	8	7	10	9	8	9	7	8	10
8	8	9	8	7	12	8	8	9	6	9	11
9	7	11	8	9	11	9	7	10	7	9	11
8	8	10	7	7	12	8	8	9	7	6	11
9	8	10	8	8	12	9	9	8	8	9	12
9	8	10	7	8	11	10	8	10	7	8	11

Anhang

UK Messung Zeitpunkt T2 Zahnbogenlänge in mm											
Zahn 31 - 32	Zahn 32 - 33	Zahn 33 - 34	Zahn 34 - 35	Zahn 35 - 36	Zahn 36 - 37	Zahn 41 - 42	Zahn 42 - 43	Zahn 43 - 44	Zahn 44 - 45	Zahn 45 - 46	46 - 47
5	5	8	4	7	11	4	5	7	5	7	12
7	7	9			11	6	7	10	6	8	
6	7			5	11	5	6	7	6	7	11
		10	7	5	12	6	6	9	7	7	12
5	5	8			11	5	5	6	6	6	10
5	5	11	5	7	10	5	6	7	8	8	12
5	6	9	7	7	12	5	5	9	7	6	12
5	7	6	7	6	11	6	6	7	6	6	11
6	6	9	8	5	12	6	5	9	7	6	12
5	5	9	5	7	11	5	5	8	5	7	11
5	6			9	11	4	6			7	12
6	6	8	8	6	11	5	7	8	7	8	13
5	5	10	7	6	12	5	6	10	6	7	10
5	6	7	5			4	6	8			
5	6	10	6	6	13	5	6	7	6	6	12
5	6	7	7	7	10	5	5	7	9	11	11
5	6	8	4	7	13	5	6	8	5	7	12
6	7	10	7	8	12	6	7	10	8	6	10
5	5	9			10	5	5	8	7	6	13
5	7	8	8	7	12	5	7	8	9	7	13
5	5	8	6	7	11	5	6	8	7	7	12
5	5	11	4			6	6	10	4		
		10				6	6	7	6		
6	5	10	5	8	12	5	5	8	6	7	11
5	5	9	6	7	10	5	5	9	6	6	10
5	6	8	7	6	11	6	6	7	6	7	10
5	5	8	7	7	12	5	6	6	5		
5	5	8	7	5	13	5	6	7	9		
5	6	9				5	8	7	7	7	12
4	6	9	7	6	12	5	6	8	8	5	12
5	6	10	6	7	12	5	4	10	5	8	12
4	6	8	6	7	11	5	5	8	7	6	11
7	5	9	5	7	11	6	6	8	5	7	11
6	6	9	6	7	11	5	6	9	6	7	12
5	7	9	6	8	11	5	6	7	7	7	12
6	7	10	6	7	12	5	8	9	5	7	13
6	6	9	4	7	11	6	5	10	4	6	11
6	7	9	8	7	12	5	5	8	9	7	12
6	6	9	7	7	12	6	7	10	6	7	12

Anhang

OK Messung Zeitpunkt T2 Zahnbogenbreite in mm						
Zahn 11 - 21	Zahn 12 - 22	Zahn 13 - 23	Zahn 14 - 24	Zahn 15 - 25	Zahn 16 - 26	Zahn 17 - 27
7	21	31	28	35	33	41
8	23	34	31	37	41	
8	24	35	31	35	39	36
9	24	35		31	36	43
8	21	32	32	35	39	43
8	23	34	30	35	40	48
8	24	36	34	37	43	47
7	22	32	30	33	38	43
8	24	35	30	39	44	52
9	23	32	25	30	34	40
8	22	31		32	37	45
9	25	32	31	36	41	48
9	24	36	32	39	45	53
8	22	33	29	32		41
8	22	34	31	35	38	45
7	22	33	28		35	42
10	11		22	33	38	43
9	25	40	34	41	44	53
8	22	33	30	34	37	
8	23	25	32		38	48
7	25	35	33	38	45	48
7	21	33	27	35	41	45
8	24	34		32		
8	22	32	27	32	36	44
7	20	31	26	30	35	42
8	23	33	33	35	39	44
9	13	32	27	32		42
7	21	29	26	29		36
7	20	18	24	28	35	40
10	25	36	35	39	44	49
7	23	34	31	37	41	46
8	22	32	27	32	37	44
9	23	34	35	36	40	45
10	26	36	32	37	40	44
9	24	35	32	36	40	43
9	17	34	30	35	40	44
10	25	36	32	37	39	43
7	23	35	31	37	40	44
10	27	38	36	41	44	48

Anhang

UK Messung Zeitpunkt T2 Zahnbogenbreite in mm						
Zahn 31 - 41	Zahn 32 - 42	Zahn 33 - 43	Zahn 34 - 44	Zahn 35 - 45	Zahn 36 - 46	Zahn 37 - 47
5	16	23	21	29	31	37
5	18	29	33		36	
6	16	27		28	33	40
5		22	24	31	34	41
5	16	25	25		31	37
5	15	25	30	29	36	41
5	12	29	30	37	38	40
5	16	26	26	31	33	37
5	12	25	27	30	37	45
4	14	23	22	25	26	34
5	15	25		18	27	38
5	17	18	32	38	40	42
5	12	21	29	32	38	45
5	14	23	26			30
5	16	24	23	32	32	38
5	15	23	23	26	32	40
5	15	25	29	29	32	37
6	16	17	29	36	41	47
5	13	23	26		29	37
5	12	26	29	35	36	43
6	18	28	28	32	39	46
5	11	27	29	33		37
5		21	25			
5	12	25	25	22	30	38
5	15	25	24	26	29	36
6	15	25	29	33	35	40
5	15	18	24	27		36
5	16	25	23	29		37
4	12	21	23			38
6	15	25	28	33	35	44
6	14	24	27	30	32	41
6	14	23	25	27	31	39
4	17	26	30	32	34	41
5	15	25	28	32	34	39
6	16	26	29	32	35	37
5	15	26	28	31	33	39
7	18	26	31	33	34	39
5	16	25	30	33	35	43
7	19	28	30	35	37	43

Anhang

9.2 Winkel

		11-21 ✖ 11-12	11-12 ✖ 12-13	12-13 ✖ 13-14	13-14 ✖ 14-15	14-15 ✖ 15-16	14-15 ✖ 15-16	16-17 ✖ 17-27
OKT1 Mittelwert		147,153	166,017	125,062	208,913	182,411	175,295	74,769
OKT1Maximum		143,13	160,619	137,401	208,321	175,006	182,214	71,9009
OKT1Minimum		170,565	135,098	134,742	204,072	186,447	175,203	72,0285
OKT2 Mittelwert		157,698	159,587	122,992	208,014	179,36	175,894	77,9895
OKT2Maximum		160,812	155,426	123,268	203,612	178,4	185,065	71,1545
OKT2Minimum		109,471	204,956	155,044	190,529	180	160,807	82,559

11-21 ✖ 21-22	21-22 ✖ 22-23	22-23 ✖ 23-24	23-24 ✖ 24-25	24-25 ✖ 25-26	24-25 ✖ 25-26	26-27 ✖ 17-27
145,472	168,892	123,74	209,411	182,095	175,351	75,3649
136,685	163,342	139,524	209,947	176,656	181,793	73,5773
170,15	141,661	129,976	202,691	186,447	177,285	73,6339
153,177	162,805	124,229	208,105	178,366	176,962	74,8205
160,812	155,426	123,268	204,953	177,059	186,383	74,3237
113,578	200,849	152,175	193,398	174,624	164,97	77,04

		31-41 ✖ 31-32	31-32 ✖ 32-33	32-33 ✖ 33-34	33-34 ✖ 34-35	34-35 ✖ 35-36	34-35 ✖ 35-36	36-37 ✖ 37-47
UKT1 Mittelwert		150,249	173,133	134,421	188,422	178,359	179,777	75,9854
UKT1Maximum		133,433	180	147,043	192,41	164,952	178,788	76,4132
UKT1Minimum		170,974	175,132	95,9092	236,575	142,947	187,934	71,1284
UKT2 Mittelwert		158,879	163,992	136,759	185,932	178,358	180,38	76,3397
UKT2Maximum		176,239	142,816	151,482	184,591	171,71	185,505	75,4448
UKT2Minimum		151,045	167,545	150,881	138,504	255,154	138,407	81,0477

31-41 ✖ 41-42	41-42 ✖ 42-43	42-43 ✖ 43-44	43-44 ✖ 44-45	44-45 ✖ 45-46	44-45 ✖ 45-46	46-47 ✖ 47-47
155,941	164,828	136,531	189,134	178,545	179,152	75,523
141,181	171,646	147,043	195,479	164,862	175,819	90,3352
171,116	175,399	96,098	259,816	119,108	185,921	71,9428
155,998	167,002	135,83	187,351	178,076	180,233	74,8711
148,997	166,587	144,891	187,734	171,384	183,748	77,8705
151,045	155,825	162,601	138,504	255,154	138,407	75,8784

10 Dank

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. Jörg A. Lisson für die freundliche Überlassung des Dissertationsthemas und die kompetente Beratung.

Dr. Björn Ludwig danke ich besonders für die engagierte Betreuung, die Überlassung der Patientendaten und des Bildmaterials.

Herrn PD Dr. Stefan Gräber und Frau Dr. Kottmann danke ich für die Hilfe bei der Anfertigung der Statistik.

Zum Schluss danke ich meinen Eltern für ihre Unterstützung und Geduld bei der Durchführung dieser Arbeit.

11 Lebenslauf

Persönliche Daten

Cynthia Stephanie Six

Geburtsdatum: 06. 11. 1986

Geburtsort: Siegen

Beruflicher Werdegang

Universität des Saarlandes

Wissenschaftliche Hilfskraft in der Klinik für Zahn-
ärztliche Prothetik und Werkstoffkunde,

Vorbereitungsassistentin in der Praxis Dr. Tim Nol-
ting, Freudenberg

Studium

Approbation September 2012

Staatsexamen Juli 2012

Zahnärztliche Vorprüfung April 2009

Naturwissenschaftliche Vorprüfung September
2007

Studienbeginn Wintersemester 2006/2007
an der Universität des Saarlandes

Schulbildung

Abitur 2006

Gymnasium Am Löhrtor, Siegen

08. 2004 – 06. 2006

West Springfield High School, Fairfax County,
Washington DC, USA

07. 2003 – 06. 2004

Gymnasium Am Löhrtor, Siegen

08. 1997 – 07. 2003